



Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Laboratorio de Sistemas Inteligentes

**MEJORA DEL DISEÑO
DEL SISTEMA LOCOMOTOR Y DE DISPARO
PARA UN MICROROBOT**

ROBOCUP SOCCER SMALL LEAGUE

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL: AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

AUTOR: Laura París Bernabé

TUTOR: José María Armingol Moreno

Madrid, 2012





AGRADECIMIENTOS

Comencé a estudiar Ingeniería Industrial Superior en la universidad Carlos III en el 2001 con mucha ilusión y ganas. Tras dos años de mucho esfuerzo no conseguí cumplir los requisitos mínimos para continuar, pero decidí no rendirme y comenzar a estudiar Ingeniería Técnica Industrial.

Cuando terminé la carrera empecé a trabajar en EADS CASA en la división de Espacio y a su vez continuar con el segundo ciclo de Ingeniería Industrial Superior. Fue todo un reto, trabajar y estudiar al mismo tiempo implicaba más esfuerzo y dedicación, pero por cuestión de orgullo quería terminar aquello que había empezado en el 2001 y que debido a las estrictas normas de la universidad tuve que abandonar.

Finalmente he terminado la Superior. Este proyecto supone el punto y final a mis estudios universitarios. Lo he conseguido, o mejor dicho, lo hemos conseguido: Mamá, Papá, Tata, Roberto y toda mi familia, porque esta carrera la hemos estudiado todos.

Gracias a mi Madre, por ser la persona que más me ha animado a no rendirme y a terminar la ingeniería. “Porque uno siempre debe terminar aquello que empieza”. Estoy segura de que tú también acabarás Derecho.

Gracias a mi Padre, por todas sus “bendiciones” antes de empezar un examen. Ya se ha terminado el sufrir por la carrera, es momento de respirar y disfrutar los veranos sin preocupaciones por estudiar.

Gracias a mi Tata, la persona que me enseñó a sumar, multiplicar y dividir. Ella tiene mucho que ver con que me gusten tanto las ciencias.

Gracias a Roberto. Sin duda mi punto de apoyo, mi compañero de carrera y de cada día de estos últimos 7 años y medio. Gracias por ayudarme tanto y confiar en mí.

Gracias a Roberto (padre) y a Macu, a Beatriz y a Álvaro que me habéis ayudado en este proyecto.

Gracias a José María, no sólo un tutor, sino también un amigo.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	9
1.2 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	9
2. ESTADO DEL ARTE	12
2.1 INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA	12
2.2 Impacto de la Robótica.....	14
2.2.1 Impacto en la Educación.....	14
2.2.2 Impacto en la Automatización industrial.....	14
2.2.3 Impacto en la Competitividad.....	15
2.2.4 Impacto sociolaboral.....	15
2.3 ORIGEN Y DESARROLLO DE LA ROBÓTICA	15
2.4 DEFINICIÓN	19
2.4.1 Definición de Robot	19
2.4.2 Definición del Robot Industrial.	19
2.4.3 Robots de Servicio y Teleoperador	20
2.5 CLASIFICACIÓN	22
2.5.1 Clasificación de Robots	22
2.5.2 Robots Industriales	24
2.6 ROBOCUP SOCCER SSL	25
2.6.1 Historia del Robocup Soccer	25
2.6.2 Clasificación del RoboCup Soccer	27
3. EL PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN	28
3.1 REGLAS DEL JUEGO [20]	28
3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	59
3.3 SOLUCIÓN ALCANZADA	60
3.3.1 Arquitectura del sistema:	61
3.3.1.1 Sistema de visión:.....	62
3.3.1.2 Sistema de inteligencia artificial:	62
3.3.1.3 Sistema de control del árbitro:.....	62
3.3.1.4 Robots:.....	62
3.3.2 Arquitectura del robot:.....	63
3.3.3 Sistema disparador:	64
3.3.4 Sistema de locomoción:.....	64
3.3.5 Sistema de alimentación:	67
3.3.6 Sistema sensorial:	67
3.3.7 Sistema Dribbler:.....	68
3.3.8 Sistema de control:	69



3.3.9	Diseño estructural:.....	70
4.	SISTEMA DE DISPARO.....	71
4.1	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISPARO</i>	71
4.2	<i>COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS DE DISPARO</i>	79
4.3	<i>SISTEMA DE DISPARO DEL PROTOTIPO 2010 / 2011</i>	80
4.4	<i>SISTEMA DE DISPARO DEL PROTOTIPO 2012</i>	81
5.	SISTEMA DE LOCOMOCIÓN.....	88
5.1	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOCOMOCIÓN</i>	88
5.2	<i>SISTEMA DE LOCOMOCIÓN DEL PROTOTIPO 2010</i>	92
5.3	<i>SISTEMA DE LOCOMOCIÓN DEL PROTOTIPO 2011</i>	94
5.4	<i>SISTEMA DE LOCOMOCIÓN DEL PROTOTIPO 2012</i>	97
6.	CONCLUSIONES Y MEJORAS.....	102
6.1	<i>CONCLUSIONES</i>	102
6.2	<i>MEJORAS</i>	103
7.	PRESUPUESTO.....	104
7.1	<i>COSTE DE MATERIAL</i>	104
7.1.1	Sistema de control	104
7.1.2	Sistema locomotor	104
7.1.3	Sistema de disparo	105
7.1.4	Sistema dribbler	105
7.1.5	Alimentación	105
7.1.5.1	Batería.....	105
7.1.5.2	Placa de alimentación	106
7.1.6	Estructuras	106
7.1.7	Cableado y conexionado.....	106
7.2	<i>COSTE DE PERSONAL</i>	107
7.3	<i>PRESUPUESTO FINAL</i>	107
8.	BIBLIOGRAFÍA	108
8.1	<i>RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS</i>	108
8.2	<i>RECURSOS ELECTRÓNICOS</i>	109
9.	ANEXOS	110



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1: Robot de industria automovilística.....	13
Ilustración 2.2: Ejemplo de manipulador programable	16
Ilustración 2.3: Robot industrial	18
Ilustración 2.4: Robots de aplicación industrial	20
Ilustración 2.5: Robot de servicio y teleoperador.....	21
Ilustración 2.6: Telerobots.....	22
Ilustración 2.7: Robot de paletización	24
Ilustración 2.8: Robot de soldadura.....	24
Ilustración 2.9: Robot de mecanización	25
Ilustración 2.10: Robot de montaje	25
Ilustración 2.11: Logotipo de la Robocup	26
Ilustración 3.1. Dimensiones del campo de juego.	29
Ilustración 3.2. Portería en detalle.	31
Ilustración 3.3. Dimensiones máximas del robot.	34
Ilustración 3.4. Área mínima superior del robot.....	35
Ilustración 3.5. Patrón estándar para RoboCup 2010	36
Ilustración 3.6. Asignaciones del color estándar para RoboCup 2010.....	36
Ilustración 3.7. Sistema de regateo.....	37
Ilustración 3.8. Cómo se debe coger la pelota.	51
Ilustración 3.9. Arquitectura del sistema	61
Ilustración 3.10: Robot de tracción solidaria en dos ruedas	65
Ilustración 3.11: Robot de tracción a las cuatro ruedas	65
Ilustración 3.12: Robot de tracción diferencial	66
Ilustración 3.13: Robots de tracción por “oruga”	66



Ilustración 3.14: Batería del Robot F180.....	67
Ilustración 3.15: Dribbler	68
Ilustración 3.16: Controlador RCM 4400 - Rabbit.....	69
Ilustración 4.1: Componentes de un circuito neumático	72
Ilustración 4.2: Compresores monoetapa y multietapa	72
Ilustración 4.3: Acumuladores y conductos	73
Ilustración 4.4: Esquema de una válvula	73
Ilustración 4.5: Cilindro de simple efecto	74
Ilustración 4.6: Cilindro de doble efecto	74
Ilustración 4.7: Servo Futaba S3003.....	74
Ilustración 4.8. Disparo con servo	75
Ilustración 4.9. Muelle.....	76
Ilustración 4.10.Disparo con muelle.....	77
Ilustración 4.11. Líneas de fuerza del solenoide.	78
Ilustración 4.12. Sistema de disparo usando un solenoide	78
Ilustración 4.13. Solenoide RP 16X16-ID.....	80
Ilustración 4.14. Solenoide con muelle	80
Ilustración 4.15. Circuito de prueba del solenoide	81
Ilustración 4.16. Pistón	82
Ilustración 4.17. Limitador de la fuerza del muelle.....	82
Ilustración 4.18.Motor de corriente continua	83
Ilustración 4.19.Esquema de la placa de control	83
Ilustración 4.20.Placa de control	84
Ilustración 4.21.Carrete	84
Ilustración 4.22.Sistema de gatillo	85
Ilustración 4.23.Elementos ensamblados al bastidor.....	85



Ilustración 4.24. Configuración inicial del motor	86
Ilustración 4.25. configuración final del motor	87
Ilustración 5.1: Tracción diferencial.....	89
Ilustración 5.2: Ruedas directrices.....	89
Ilustración 5.3: Tracción síncrona	90
Ilustración 5.4: Tracción Ackerman	91
Ilustración 5.5: Rueda omnidireccional.....	91
Ilustración 5.6: Rueda 2051K.....	93
Ilustración 5.7. Motor EC45 FLAT BRUSHLESS 30W con electrónica integrada	93
Ilustración 5.8. Acoplamiento rueda – motor prototipo 2010	94
Ilustración 5.9. Base con los motores y ruedas omnidireccionales	94
Ilustración 5.10. Rueda omnidireccional VEX 2.75”	95
Ilustración 5.11. Solución acoplamiento rueda – motor.....	96
Ilustración 5.12. Montaje completo sobre la base del robot de 2011	97
Ilustración 5.13. Prototipo 2011	98
Ilustración 5.14. Dimensiones del prototipo 2011.....	98
Ilustración 5.15. Modificaciones en la rueda del prototipo 2011	99
Ilustración 5.16. Rueda del prototipo 2012	100
Ilustración 5.17. Diferencias entre los prototipos 2011 y 2012.....	100
Ilustración 5.18. Montaje completo sobre la base del robot de 2012	101



CAPÍTULO 1

1.INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI) de la Universidad Carlos III de Madrid comenzó por primera vez a desarrollar un robot para la liga Robocup en el año 2008.

En años anteriores el laboratorio destacaba por su participación en Eurobot, una competición a nivel europeo cuyo objetivo varía todos los años y en la que participan estudiantes de diferentes titulaciones y orígenes.

El punto de partida de este proyecto son los avances desarrollados por el equipo LSI hasta finales del año 2012 en un robot para la competición Robocup.

A grandes rasgos, se podría definir la liga Robocup Soccer SSL (Small Size League) como una competición centrada en equipos de robots de tamaño pequeño que juegan un partido de fútbol.

La presente memoria comprende la realización de una parte de este proyecto, puesto que se trata de un proyecto conjunto y en continua mejora. La siguiente memoria describe los siguientes elementos del robot:

- diseño y desarrollo de un sistema de disparo
- optimización del sistema locomotor para cumplir con las dimensiones del reglamento

1.2 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El contenido de esta memoria se puede clasificar en distintos capítulos, en función de los bloques temáticos que la componen. En líneas sucesivas se procederá a la descripción de cada uno de ellos.



ESTADO DEL ARTE

Este proyecto está íntimamente ligado al mundo de la robótica, por lo que es conveniente hacer una breve introducción a este amplio mundo y a sus aplicaciones en todos sus niveles: en el ámbito práctico y funcional, en el entorno industrial, a nivel de investigación, de desarrollo de nuevas aplicaciones, a nivel lúdico y como pasatiempo. Un ejemplo muy claro de las aplicaciones lúdicas es, sin lugar a dudas, los concursos, foros, reuniones y certámenes de microrobots.

Se realiza en este tema una presentación de la microrrobótica y se habla sobre los microrobots en general y en particular sobre la liga Robocup Soccer SSL (Small Size League). Se explican de forma breve, pero concisa, los fundamentos teóricos, los conceptos y las aplicaciones prácticas en las que se basa la microrrobótica.

EL PROBLEMA Y LA SOLUCIÓN

Análisis de todas las necesidades para la resolución del proyecto. A partir de la normativa de las reglas del concurso, se detalla cada uno de los problemas que se necesitan resolver. Para cada uno de ellos, se ofrece la solución adoptada, considerando la más óptima aquella que permita mantener un equilibrio entre la economía y el rendimiento puro.

SISTEMA DE DISPARO

Se describe el sistema encargado de disparar los elementos del área de juego e impulsarlos hasta la región del campo de juego deseada. En este capítulo se describen los elementos que componen el sistema de disparo analizando cada uno de ellos por separado.

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA LOCOMOTOR

En este capítulo se tratan las mejoras de aprovechamiento de espacio realizadas en la base del robot para cumplir con las dimensiones del reglamento del juego.

CONCLUSIONES Y MEJORAS

El capítulo está dedicado a las conclusiones y mejoras que pueden realizarse sobre este proyecto. Se exponen cada uno de los resultados obtenidos y se dan, además, ideas o sugerencias para la realización de futuros proyectos fin de carrera basados en este proyecto.



PRESUPUESTO

Apartado donde se detallan los costes derivados de la realización del proyecto, incluyendo el material y demás costes.

BIBLIOGRAFÍA

En este capítulo se incluye tanto material de referencia como material de consulta y diferentes direcciones de Internet que se han consultado para la realización de este proyecto.

ANEXOS

Por último, la memoria consta de anexos, donde se incluye diversa información de interés.



CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

Cada vez es más habitual encontrar un robot o ingenio mecánico que desarrolle un trabajo que anteriormente realizaba un hombre. Este hecho se debe a que en la actualidad se vive una época de constante evolución en lo que a la robótica se refiere. Esta evolución se debe a que el ámbito de aplicación de los robots es tan amplio o más que el del propio ser humano ya que aunque más limitados en muchos aspectos, son capaces de adaptarse y especializarse en el trabajo en ámbitos adversos como lugares radioactivos, corrosivos, submarinos, subterráneos, etc. [8]

La robótica se fundamenta en unos pilares, que son la electrónica (circuitería y hardware), la mecánica (estructura y actuadores) y por último la informática (programación, inteligencia artificial y visión artificial).

En este capítulo se abordará la evolución histórica de la robótica industrial y más concretamente de la micro-robótica donde se encuadra este proyecto. Se atenderá desde sus comienzos hasta los últimos avances en este campo. También se distinguirán los diversos usos que de los robots se hacen dependiendo de las características que los conforman.

2.1 INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA

La imagen del robot como una máquina a semejanza con el ser humano, subyace en el hombre desde hace muchos siglos, existiendo diversas realizaciones con este fin [2] [5].

La palabra **robot** proviene del checo y la usó por primera vez el escritor Karel Capek en 1917 para referirse, en sus obras, a máquinas con forma de humanoide. En 1940, Isaac Asimov volvió a referirse a los robots en sus libros.

El ciudadano industrializado que vive a caballo entre el siglo XX y el XXI se ha visto en la necesidad de comprender, en escasos 25 años, el significado de un buen número de nuevos términos marcados por su alto contenido tecnológico, de ellos sin duda el más relevante ha sido el ordenador.

El ordenador está introducido hoy en día en su versión personal en multitud de hogares y el ciudadano medio va conociendo en creciente proporción, además de su existencia, su modo de uso y buena parte de sus posibilidades.

Pero dejando de lado esta verdadera revolución social, existen otros conceptos procedentes del desarrollo tecnológico que han superado las barreras impuestas por las industrias y centros de investigación, incorporándose en cierta medida al lenguaje coloquial entre los que destaca el concepto *robot*.

Sin embargo, el **robot industrial** que se conoce y emplea en nuestros días, no surge como consecuencia de la tendencia o afición de reproducir seres vivientes, sino de la necesidad [11].

Así por ejemplo, fue la necesidad la que dio origen a la agricultura, el pastoreo, la caza, la pesca, etc. Más adelante, la necesidad provoca la primera revolución industrial con el descubrimiento de la maquina de Watt y, actualmente, la necesidad ha cubierto de ordenadores la faz de la tierra.

Inmersos en la era de la informatización, la imperiosa necesidad de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, ha hecho insuficiente la automatización industrial rígida, dominante en las primeras décadas del siglo XX, que estaba destinada a la fabricación de grandes series de una restringida gama de productos. Hoy día, más de la mitad de los productos que se fabrican corresponden a lotes de pocas unidades.

Al enfocarse la producción industrial moderna hacia la automatización global y flexible, han quedado en desuso las herramientas, que hasta hace poco eran habituales:

- Forja, prensa y fundición
- Esmaltado
- Corte
- Encolado
- Desbardado
- Pulido

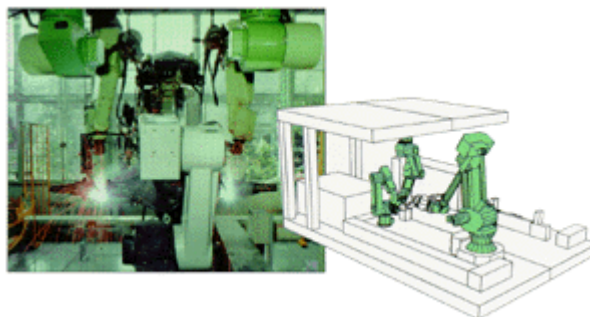


Ilustración 2.1: Robot de industria automovilística

Actualmente, la mayoría de los robots instalados se dedican al montaje y labores de inspección. En 1979 la industria del automóvil ocupaba el 58% del parque mundial, siguiendo en importancia las empresas constructoras de maquinaria eléctrica y electrónica. En 1997 el parque mundial de robots alcanza la cifra de 831.000 unidades, de los cuales la mitad se localizan en Japón.



2.2 Impacto de la Robótica

La Robótica es una nueva tecnología, que surgió como tal, hacia 1960. Han transcurrido más de 40 años y la evolución que ha seguido desborda cualquier previsión. Desde los primeros robots destinados principalmente a realizar labores pesadas y repetitivas, hemos llegado a un punto en el que los robots se han expandido a otras tareas como son el entretenimiento, el arte y demás campos ajenos a tareas laborables. Por ello como sucedió con los ordenadores que en un inicio eran pocos, caros, grandes y destinados al trabajo, los robots dejarán de ser una herramienta de trabajo para formar parte de la vida cotidiana del ser humano como ya lo es el ordenador.

2.2.1 Impacto en la Educación

El auge de la Robótica y la imperiosa necesidad de su implantación en numerosas instalaciones industriales, requiere el concurso de un buen número de especialistas en la materia. La Robótica es una tecnología multidisciplinar que hace uso de todos los recursos de vanguardia de otras ciencias afines, que soportan una parcela de su estructura. Entre los recursos más empleados destacan los siguientes:

- -Mecánica
- -Cinemática
- -Dinámica
- -Matemáticas
- -Automática
- -Electrónica
- -Informática
- -Energía y actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos.
- -Visión Artificial.
- -Sonido de máquinas.
- -Inteligencia Artificial.

Realmente la Robótica es una combinación de todas las disciplinas expuestas, más el conocimiento de la aplicación a la que se enfoca.

2.2.2 Impacto en la Automatización industrial

El concepto que existía sobre *automatización industrial* se ha modificado profundamente con la incorporación al mundo del trabajo del robot, que introduce el nuevo vocablo de "sistema de fabricación flexible", cuya principal característica consiste en la facilidad de adaptación de este núcleo de trabajo, a tareas diferentes de producción.

Las células flexibles de producción se ajustan a necesidades del mercado y están constituidas, básicamente, por grupos de robots controlados por ordenador. Las células



flexibles disminuyen el tiempo del ciclo de trabajo en el taller de un producto y liberan a las personas de trabajos desagradables y monótonos. La interrelación de las diferentes células flexibles a través de potentes computadores, dará lugar a la factoría totalmente automatizada, de las que ya existen algunas experiencias.

2.2.3 Impacto en la Competitividad

La adopción de la automatización parcial y global de la fabricación, por parte de las poderosas compañías multinacionales, obliga a todas las demás a seguir sus pasos para mantener su supervivencia. Cuando el grado de utilización de maquinaria sofisticada es pequeño, la inversión no queda justificada. Para poder compaginar la reducción del número de horas de trabajo de los operarios y sus deseos para que estén emplazadas en el horario normal diurno, con el empleo intensivo de los modernos sistemas de producción, es preciso utilizar nuevas técnicas de fabricación flexible integral.

2.2.4 Impacto sociolaboral

El mantenimiento de las empresas y el consiguiente aumento en su productividad, aglutinan el interés de empresarios y trabajadores en aceptar, por una parte la inversión económica y por otra la reducción de puestos de trabajo, para incorporar las nuevas tecnologías basadas en robots y computadores.

Las ventajas de los modernos elementos productivos, como la liberación del, hombre de trabajos peligrosos, desagradables o monótonos y el aumento de la productividad, calidad y competitividad, a menudo, queda eclipsado por el aspecto negativo que supone el desplazamiento de mano de obra, sobre todo en tiempos de crisis. Este temor resulta infundado si se analiza con detalle el verdadero efecto de la robotización.

En el caso de España se previó que para 1998 existirían 5000 robots instalados, lo que supondría la sustitución de 10000 puestos de trabajo. El desempleo generado quedaría completamente compensado por los nuevos puestos de trabajo que surgirían en el sector de la enseñanza, los servicios, la instalación, mantenimiento y fabricación de robots, pero especialmente por todos aquellos que se mantendrían como consecuencia de la vitalización y salvación de las empresas que implanten los robots.

2.3 ORIGEN Y DESARROLLO DE LA ROBÓTICA

La palabra robot fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karel Capek (1890 - 1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot (R.U.R.). Su origen es de la palabra eslava **robota**, que se refiere al trabajo realizado de manera forzada.

Con el objetivo de diseñar una maquina flexible, adaptable al entorno y de fácil manejo, George Devol, pionero de la Robótica Industrial, patentó en 1948, un manipulador programable que fue el germen del robot industrial.

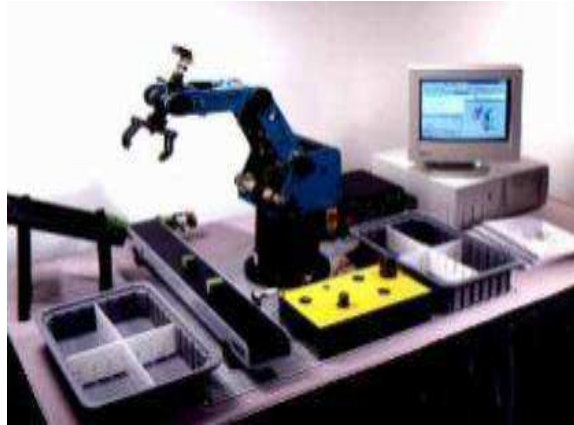


Ilustración 2.2: Ejemplo de manipulador programable

En 1948 R.C. Goertz del Argonne National Laboratory desarrolló, con el objetivo de manipular elementos radioactivos sin riesgo para el operador, el primer telemanipulador. Éste consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo. El manipulador maestro, reproducía fielmente los movimientos del operador, el cual además de poder observar a través de un grueso cristal el resultado de sus acciones, sentía a través del dispositivo maestro, las fuerzas que el esclavo ejercía sobre el entorno.

Años más tarde, en 1954, Goertz hizo uso de la tecnología electrónica y del servocontrol sustituyendo la transmisión mecánica por eléctrica y desarrollando así el primer telemanipulador con servocontrol bilateral.

Otro de los pioneros de la telemanipulación fue Ralph Mosher, ingeniero de la General Electric que en 1958 desarrolló un dispositivo denominado Handy-Man, consistente en dos brazos mecánicos teleoperados mediante un maestro del tipo llamado exoesqueleto.

Junto a la industria nuclear, a lo largo de los años sesenta la industria submarina comenzó a interesarse por el uso de los telemanipuladores. A este interés se sumó la industria espacial en los años setenta.

La evolución de los telemanipuladores a lo largo de los últimos años no ha sido tan espectacular como la de los robots. Recluidos en un mercado selecto y limitado (industria nuclear, militar, espacial, etc.) son en general desconocidos y comparativamente poco atendidos por los investigadores y usuarios de robots. Por su propia concepción, un telemanipulador precisa el mando continuo de un operador, y salvo por las aportaciones incorporadas con el concepto del control supervisado y la mejora de la telepresencia promovida hoy día por la realidad virtual, sus capacidades no han variado mucho respecto a las de sus orígenes.



La sustitución del operador por un programa de ordenador que controlase los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot.

La primera patente de un dispositivo robótico fue solicitada en marzo de 1954 por el inventor británico C.W. Kenward. Dicha patente fue emitida en el Reino Unido en 1957, sin embargo fue George C. Devol, ingeniero norteamericano, inventor y autor de varias patentes, el que estableció las bases del robot industrial moderno. En 1954 Devol concibió la idea de un dispositivo de transferencia de artículos programada que se patentó en Estados Unidos en 1961.

En 1956 Joseph F. Engelberger, director de ingeniería de la división aeroespacial de la empresa Manning Maxwell y Moore en Stanford, junto con Devol comenzaron a trabajar en la utilización industrial de sus máquinas. Fundando la Consolidated Controls Corporation, que más tarde se convierte en Unimation (Universal Automation), e instalando su primera máquina Unimate (1960), en la fábrica de General Motors de Trenton, Nueva Jersey, en una aplicación de fundición por inyección.

Otras grandes empresas como AMF, emprendieron la construcción de máquinas similares (Versatran- 1963).

En 1968 J.F. Engelberger visitó Japón y poco más tarde se firmaron acuerdos con Kawasaki para la construcción de robots tipo Unimate. El crecimiento de la robótica en Japón aventaja en breve a los Estados Unidos gracias a Nissan, que formó la primera asociación robótica del mundo, la Asociación de Robótica industrial de Japón (JIRA) en

1972. Dos años más tarde se formó el Instituto de Robótica de América (RIA), que en 1984 cambió su nombre por el de Asociación de Industrias Robóticas, manteniendo las mismas siglas (RIA).

Por su parte Europa tuvo un despertar más tardío. En 1973 la firma sueca ASEA construyó el primer robot con accionamiento totalmente eléctrico, en 1980 se fundó la Federación Internacional de Robótica con sede en Estocolmo Suecia.

La configuración de los primeros robots respondía a las denominadas configuraciones esférica y antropomórfica, de uso especialmente válido para la manipulación. En 1982, el profesor Makino de la Universidad Yamanashi de Japón, desarrolla el concepto de robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) que busca un robot con un número reducido en grados de libertad (3 o 4), un coste limitado y una configuración orientada al ensamblado de piezas.



Ilustración 2.3: Robot industrial

La definición del robot industrial como una maquina que puede efectuar un número diverso de trabajos automáticamente mediante la programación previa no es válida, ya que existen bastantes máquinas de control numérico que cumplen esos requisitos. Una peculiaridad de los robots es su estructura de brazo mecánico y otra su adaptabilidad a diferentes aprehensores o herramientas. Otra característica específica del robot, es la posibilidad de llevar a cabo trabajos completamente diferentes e, incluso, tomar decisiones según la información procedente del mundo exterior, mediante el adecuado programa operativo en su sistema informático.

Se pueden distinguir cinco fases relevantes en el desarrollo de la Robótica Industrial:

1. El laboratorio ARGONNE diseña, en 1950, manipuladores amo-esclavo para manejar material radioactivo.
2. Unimation, fundada en 1958 por Engelberger y hoy absorbida por Whestinghouse, realiza los primeros proyectos de robots a principios de la década de los sesentas de nuestro siglo, instalando el primero en 1961 y posteriormente, en 1967, un conjunto de ellos en una factoría de General Motors. Tres años después, se inicia la implantación de los robots en Europa, especialmente en el área de fabricación de automóviles. Japón comienza a implementar esta tecnología hasta 1968.
3. Los laboratorios de la Universidad de Stanford y del MIT acometen, en 1970, la tarea de controlar un robot mediante computador.
4. En el año de 1975, la aplicación del microprocesador, transforma la imagen y las características del robot, hasta entonces grande y costoso.
5. A partir de 1980, el fuerte impulso en la investigación, por parte de las empresas fabricantes de robots, otros auxiliares y diversos departamentos de Universidades de todo el mundo, sobre la informática aplicada y la experimentación de los sensores, cada vez más perfeccionados, potencian la configuración del robot inteligente capaz de adaptarse al ambiente y tomar decisiones en tiempo real, adecuadas para cada situación.



En esta fase que dura desde 1975 hasta 1980, la conjunción de los efectos de la revolución de la Microelectrónica y la revitalización de las empresas automovilísticas, produjo un crecimiento acumulativo del parque de robots, cercano al 25%.

La evolución de los robots industriales desde sus comienzos ha sido vertiginosa. En poco más de 40 años las investigaciones y desarrollos sobre robótica industrial han permitido que los robots tomen posiciones en casi todas las áreas productivas y tipos de industria. En pequeñas o grandes fábricas, los robots pueden sustituir al hombre tanto en aquellas áreas repetitivas y hostiles, adaptándose inmediatamente a los cambios de producción solicitados por la demanda variable como en las tareas de supervisión y gestión de la calidad gracias a los avances en visión artificial y el procesamiento de imágenes por ordenador.

2.4 DEFINICIÓN

2.4.1 Definición de Robot

Un robot es un dispositivo electrónico y generalmente mecánico, que desempeña tareas automáticamente, ya sea de acuerdo a supervisión humana directa, o a través de un programa predefinido o siguiendo un conjunto de reglas generales [6].

Un robot también se define como una entidad hecha por el hombre con un cuerpo (anatomía) y una conexión de realimentación inteligente entre el sentido y la acción, no bajo la acción directa del control humano. Sin embargo, se ha avanzado mucho en el campo de los robots con inteligencia alámbrica (control remoto). Las acciones de este tipo de robots son generalmente llevadas a cabo por motores o actuadores que mueven extremidades o impulsan al robot.

Asimismo, el término robot ha sido utilizado como un término general que define a una máquina mecánica o autómatas, que imita a un animal, ya sea real o imaginario, pero se ha venido aplicado a muchas máquinas que remplazan directamente a un humano o animal en el trabajo o el juego. Esta definición podría implicar que un robot es una forma de biomimetismo.

2.4.2 Definición del Robot Industrial.

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre el mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y lo que es un manipulador. Así, mientras que para los japoneses un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación, el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control [1].

En segundo lugar, y centrándose ya en el concepto occidental, aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es fácil ponerse de acuerdo a la hora de establecer una definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición mas comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), según la cual:

Un **robot industrial** es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

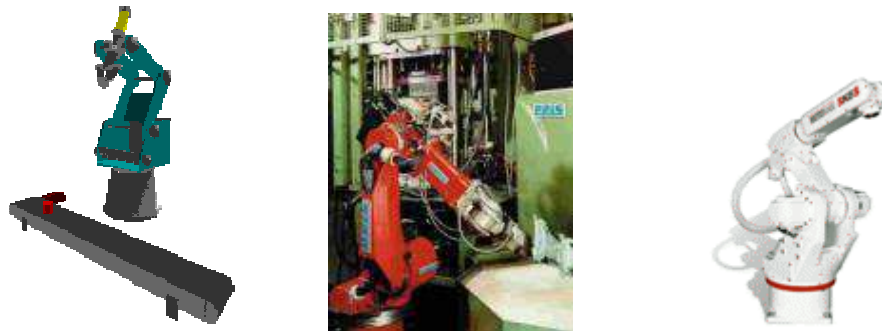


Ilustración 2.4: Robots de aplicación industrial

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como: Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas. Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad.

Común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente.

2.4.3 Robots de Servicio y Teleoperador

En cuanto a los robots de servicio, se pueden definir como: dispositivos electromecánicos móviles o estacionarios, dotados normalmente de uno o varios brazos mecánicos independientes, controlados por un programa ordenador y que realizan tareas no industriales de servicio [3].

En esta definición entrarían entre otros los robots dedicados a cuidados médicos, educación, domésticos, uso en oficinas, intervención en ambientes peligrosos, aplicaciones espaciales, aplicaciones submarinas y agricultura. Sin embargo, esta definición de robots de servicio excluye los telemanipuladores, pues estos no se mueven mediante el control de un programa ordenador, sino que están controlados directamente por el operador humano.

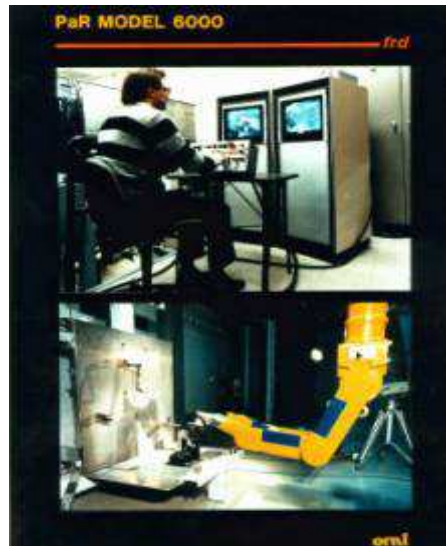


Ilustración 2.5: Robot de servicio y teleoperador

El diseño de Telerobots y los Grupos de Aplicaciones desarrollan y aplican las tecnologías para el funcionamiento dirigido de telerobots en el espacio y las aplicaciones terrestres. El telerobots dirigido, operando en un sitio utiliza dispositivos de entrada, como la visualización gráfica, labor con herramienta, planeando las ayudas para ordenar ejecución de una tarea a un sitio remoto usando un sistema telerobótico.

Las áreas actuales de investigación y desarrollo incluyen:

- El manipulador y el mando del robot móvil
- Las arquitecturas del telerobot remotas
- Procesado, integración, y fusión, del sistema sensorial
- Tareas interactivas que planea y ejecuta
- La visualización gráfica de las imágenes sobrepuestas
- Multisensor - el mando equilibrado
- Micromecanismos - control para el despliegue de los instrumentos



Ilustración 2.6: Telerobots

Los robots teleoperados son definidos por la NASA como: dispositivos robóticos con brazos manipuladores y sensores con cierto grado de movilidad, controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador.

2.5 CLASIFICACIÓN

2.5.1 Clasificación de Robots

La potencia del software en el controlador determina la utilidad y flexibilidad del robot dentro de las limitantes del diseño mecánico y la capacidad de los sensores. Los robots han sido clasificados de acuerdo a su generación, a su nivel de inteligencia, a su nivel de control, y a su nivel de lenguaje de programación. Estas clasificaciones reflejan la potencia del software en el controlador, en particular, la sofisticada interacción de los sensores. La generación de un robot se determina por el orden histórico de desarrollos en la robótica. Cinco generaciones son normalmente asignadas a los robots industriales. La tercera generación es utilizada en la industria, la cuarta se desarrolla en los laboratorios de investigación, y la quinta generación es un gran sueño [12].

1.- **Robots Play-back**, los cuales regeneran una secuencia de instrucciones grabadas, como un robot utilizado en recubrimiento por spray o soldadura por arco. Estos robots comúnmente tienen un control de lazo abierto.



2.- **Robots controlados por sensores**, estos tienen un control en lazo cerrado de movimientos manipulados, y hacen decisiones basados en datos obtenidos por sensores.

3.- **Robots controlados por visión**, donde los robots pueden manipular un objeto al utilizar información desde un sistema de visión.

4.- **Robots controlados adaptablemente**, donde los robots pueden automáticamente reprogramar sus acciones sobre la base de los datos obtenidos por los sensores.

5.- **Robots con inteligencia artificial**, donde los robots utilizan las técnicas de inteligencia artificial para hacer sus propias decisiones y resolver problemas. La Asociación de Robots Japonesa (JIRA) ha clasificado a los robots dentro de seis clases sobre la base de su nivel de inteligencia:

- a) Dispositivos de manejo manual, controlados por una persona.
- b) Robots de secuencia arreglada.
- c) Robots de secuencia variable, donde un operador puede modificar la secuencia fácilmente.
- d) Robots regeneradores, donde el operador humano conduce el robot a través de la tarea.
- e) Robots de control numérico, donde el operador alimenta la programación del movimiento, hasta que se enseñe manualmente la tarea.
- f) Robots inteligentes, los cuales pueden entender e interactuar con cambios en el medio ambiente.

Los programas en el controlador del robot pueden ser agrupados de acuerdo al nivel de control que realizan:

- **Nivel de inteligencia artificial**, donde el programa aceptará un comando como "levantar el producto" y descomponerlo dentro de una secuencia de comandos de bajo nivel basados en un modelo estratégico de las tareas.

- **Nivel de modo de control**, donde los movimientos del sistema son modelados, para lo que se incluye la interacción dinámica entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas, y los puntos de asignación seleccionados.

- **Niveles de servosistemas**, donde los actuadores controlan los parámetros de los mecanismos con el uso de una retroalimentación interna de los datos obtenidos por los sensores, y la ruta es modificada sobre la base de los datos que se obtienen de sensores externos. Todas las detecciones de fallas y mecanismos de corrección son implementados en este nivel.

En la clasificación final se considerará el nivel del lenguaje de programación. La clave para una aplicación efectiva de los robots para una amplia variedad de tareas, es el desarrollo de lenguajes de alto nivel. Existen muchos sistemas de programación de robots, aunque la mayoría del software más avanzado se encuentra en los laboratorios de investigación. Los sistemas de programación de robots caen dentro de tres clases:

- 1.- **Sistemas guiados**, en el cual el usuario conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados.
- 2.- **Sistemas de programación de nivel-robot**, en los cuales el usuario escribe un programa de computadora al especificar el movimiento y el sensado.
- 3.- **Sistemas de programación de nivel-tarea**, en el cual el usuario especifica la operación por sus acciones sobre los objetos que el robot manipula.

2.5.2 Robots Industriales

Por su propia definición el robot industrial es multifuncional, esto es, puede ser aplicado a un número, en principio ilimitado, de funciones. No obstante, la práctica ha demostrado que su adaptación es óptima en determinados procesos (soldadura, paletización, etc.) en los que hoy día el robot es sin duda alguna, la solución más rentable [8].

Junto con estas aplicaciones ya arraigadas hay otras novedosas que si bien la utilización del robot no se realiza a gran escala, si se justifica su aplicación por las condiciones intrínsecas del medio de trabajo (ambientes contaminados, salas asépticas, construcción, etc.) o la elevada exigencia en cuanto a calidad de los resultados (medicina, etc.). Estos robots se han venido llamando robots de servicio.

La Federación Internacional de la Robótica (IFR) estableció en 1998 una clasificación de las aplicaciones de la Robótica en el sector manufacturero [14]:

1. Manipulación en fundición
 - a) Moldes.
 - b) Otros.
2. Manipulación en moldeo de plásticos.
3. Manipulación en tratamientos térmicos.
4. Manipulación en la forja y estampación
5. Soldadura.
 - a) Al arco.
 - b) Por puntos.
 - c) Por gas.
 - d) Por láser.
 - e) Otros.



Ilustración 2.7: Robot de paletización



Ilustración 2.8: Robot de soldadura

6. Aplicación de materiales.

- a) Pintura.
- b) Adhesivos y secantes.
- c) Otros.

7. Mecanización.

- a) Carga y descarga de maquinas.
- b) Corte mecánico, rectificado, desbaldado y pulido.
- c) Otros.

8. Otros procesos.

- a) Láser.
- b) Chorro de agua.
- c) Otros.

9. Montaje.

- a) Montaje mecánico.
- b) Inserción.
- c) Unión por adhesivos.
- d) Unión por soldadura.
- e) Manipulación para montaje.
- f) Otros.

10. Paletización.

11. Medición, inspección, control de calidad.

12. Manipulación de materiales.

13. Formación, enseñanza e investigación.

14. Otros.

Esta clasificación pretende englobar la mayor parte de los procesos robotizados en la actualidad aunque, como se ha indicado anteriormente, se pueden encontrar aplicaciones particulares que no aparecen de manera explícita en esta clasificación [13].



Ilustración 2.9: Robot de mecanización



Ilustración 2.10: Robot de montaje

2.6 ROBOCUP SOCCER SSL

2.6.1 Historia del Robocup Soccer

El origen de esta extraña competición se encuentra en el documento “On Seeing Robots” [1] publicado en 1992 por Alan Mackworth de la UBC Canadá. Desde ese

momento su equipo de investigación publicó sendos trabajos relacionados con el objetivo de crear robots capaces de desarrollar un deporte como el fútbol. Al mismo tiempo, un grupo de investigadores japoneses organizó en octubre de 1992 un taller sobre los grandes retos de la inteligencia artificial; en el que se discutió la posibilidad de utilizar el fútbol como plataforma de desarrollo para la ciencia y la tecnología.

En junio de 1993, tras una serie de estudios de viabilidad tecnológica y financiera, los japoneses Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi y Hiroaki Kitano decidieron lanzar una competición robótica, llamada originalmente Robot J-League, en honor a la recientemente creada liga de fútbol profesional de Japón. Unos meses después, la comunidad científica mundial propuso que el proyecto recién creado tuviera alcance mundial. Así nació “The Robot World Cup Initiative”, mejor conocido como el proyecto RoboCup.

Más tarde, se creó la Federación RoboCup como una organización internacional registrada en Suiza. La federación se encarga de dirigir el esfuerzo de la comunidad científica mundial para promover la ciencia y la tecnología a través de robots y agentes de software que juegan fútbol. La figura 1.1 muestra el logotipo de la Federación RoboCup.



Ilustración 2.11: Logotipo de la Robocup

El proyecto tiene un objetivo ambicioso, se pretende que con la tecnología desarrollada en el año de 2050 un equipo de robots autónomos humanoides sea capaz de derrotar en un partido de fútbol a la selección humana campeona del mundo de ese tiempo. Para lograrlo se han creado varias líneas de investigación que promuevan el desarrollo tecnológico y de sistemas inteligentes y colaborativos.

Las competiciones de fútbol de robots tienen como finalidad la investigación y el desarrollo de un equipo de robots autónomos, pero que buscan un fin común enfrentándose a un entorno dinámico y en continuo cambio; de tal forma que pueden alcanzar los objetivos cooperando entre ellos. Todas las soluciones ante las adversidades particulares que supone un campeonato de fútbol de robots, son soluciones válidas para cualquier otro contexto, como por ejemplo el rescate de una persona en una situación de peligro.



2.6.2 Clasificación del RoboCup Soccer

Actualmente existen diferentes campeonatos de fútbol de robots. Las diferentes ligas atienden a la morfología del robot y siguen diferentes conjuntos de reglas. Dentro de RoboCup Soccer existen cinco categorías de competencias, cada una con características muy particulares, y son:

- Liga de simulación, donde no existen robots físicos, sino que se trata de 11 agentes virtuales que se enfrentan en un terreno de juego virtual. Cada agente envía información a un servidor de simulación y recibe datos sobre su posición y del ambiente.
- Liga de robots de tamaño pequeño (Small Size), también conocida como SSL por sus siglas en inglés aunque su nombre oficial es F180 (El nombre F180 proviene de los 180mm de diámetro máximo de los robots). Dos equipos de 5 robots cada uno, de un tamaño no mayor a un cilindro de 180 mm de diámetro y 150 mm de alto, juegan al fútbol en un campo de 6050x4050 mm con una pelota de golf de color naranja. Los robots son totalmente autónomos y un sistema central de visión obtiene la información del ambiente y de los robots, mientras un sistema de control envía instrucciones de manera inalámbrica a los robots.
- Liga de robots de tamaño medio, formado por 4 robots con sensores de abordo para obtener información del ambiente y un sistema de visión local.
- Liga de robots con cuatro patas, en el que cuatro robots cuadrúpedos (SONY AIBO) disputan el encuentro, que al igual que en la anterior poseen sensores de abordo y sistema de visión local y se comunican entre ellos.
- Liga de robots humanoides, formada por robots con forma de persona. Es la única liga en donde se permite la intervención humana.

El presente documento se centra en el diseño y construcción de un robot prototipo para la liga de robots de tamaño pequeño (Small Size League). En esta competición participan hasta cinco pequeños robots por equipo con un tamaño máximo descrito en la normativa del juego. Los robots deben ser capaces de conocer cuál es su posición dentro del terreno de juego, dónde se encuentra la pelota, cuál es su trayectoria y si está bajo el control de un robot del mismo equipo o del equipo contrario, de esquivar obstáculos móviles (los robots tanto de un equipo como de otro), interceptar la pelota en su trayectoria, realizar pases, disparos, ejecutar jugadas, etc.; respetando las normas del concurso.



CAPÍTULO 3

3.EL PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN

Como se ha descrito en el capítulo anterior, la Liga de robots de tamaño pequeño (Small Size) o SSL consiste en una liga de fútbol entre equipos de diferentes nacionalidades formados por 5 robots cada uno.

El tamaño de los robots no debe ser mayor a un cilindro de 180 mm de diámetro y 150 mm de alto, han de ser totalmente autónomos y dotados de un sistema central de visión que obtiene la información del ambiente y de los robots durante el partido.

A su vez, un sistema de control envía instrucciones de manera inalámbrica a los robots de modo que puedan coordinarse entre ellos.

El partido de fútbol transcurre en un campo de 6050x4050 mm con una pelota de golf de color naranja.

La duración de un partido es de veinte minutos dividido en dos tiempos de diez minutos cada uno. Pasado este tiempo ambos robots deben pararse por sí mismos sin intervención alguna de los miembros de su equipo.

El equipo que consiga mayor número de puntos al final del partido se proclama equipo ganador.

3.1 REGLAS DEL JUEGO [20]

Notas: *Género Masculino y Femenino*

Las referencias al género masculino en las leyes con respecto a los árbitros, árbitros asistentes, el equipo y los miembros y funcionarios, se aplican por simplificación y se aplican tanto a hombres y mujeres.

LEY 1 - EL TERRENO DE JUEGO

Dimensiones

El campo de juego debe ser rectangular. Las dimensiones incluyen las líneas de contorno.

Largo: 6050mm

Ancho: 4050mm

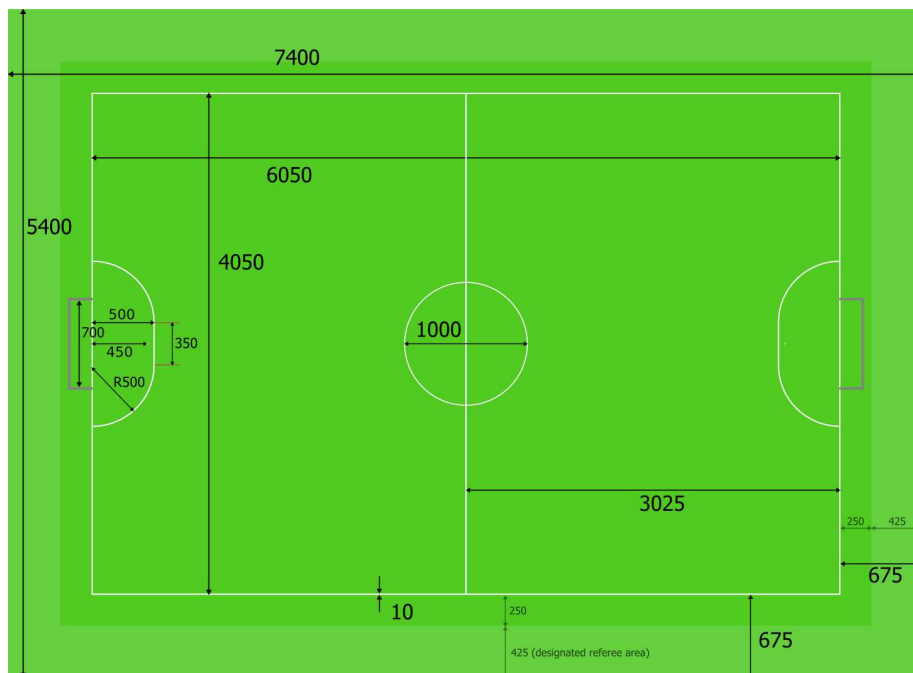


Ilustración 3.1. Dimensiones del campo de juego.

La superficie del campo

La superficie de juego es de color verde, de fieltro o moqueta. El suelo debajo de la alfombra debe estar nivelada, plana y dura.

La superficie del campo se aumentará 675 mm más allá de las líneas fronterizas por todo el contorno. Los 425mm del exterior de esta zona de escape se utilizan para el paso a pie del árbitro designado a esta la zona (véase la Ley 5). En el borde de la superficie del campo, una pared de 100 mm de altura impedirá que la pelota y los robots salgan fuera del borde exterior.

Líneas del campo

El campo de juego está marcado con líneas. Las líneas pertenecen a las áreas, de las que son las fronteras.



Los dos lados más largos se llaman los límites de contacto (las bandas). Los dos lados más cortos se llaman límites de gol.

Todas las líneas son de 10 mm de ancho y pintado de blanco.

El campo de juego se divide en dos mitades por una línea en mitad del campo.

La marca de centro se indica en el punto medio de la línea del centro. Un círculo con un diámetro de 1000mm se caracteriza a su alrededor.

El área de defensa

Un área de la defensa se define en cada extremo del campo de la siguiente manera:

Dos cuartos de círculo con un radio de 500mm se dibujan en el terreno de juego. Estos cuartos de círculo están conectados por una línea paralela a la línea de meta.

La configuración exacta se muestra en la Ilustración 3.1.

La zona delimitada por este arco y la línea de meta es el área de defensa.

Punto de penalti

Dentro de cada área de la defensa se marca un punto de penalti que se sitúa a 450 mm desde el punto medio entre los postes y equidistante a ellos. La marca es un círculo de 10 mm de diámetro de pintura blanca.

Porterías

Las porterías deben ser puestas en el centro de cada límite de gol.

Constan de dos paredes laterales verticales de 160mm, unidas por la detrás por una pared vertical de 160 mm.

La cara interna de la meta tiene que ser cubierta con un material absorbente de energía como la espuma para ayudar a absorber los impactos de las bolas y disminuir la velocidad de las desviaciones. Respecto a las porterías, las paredes, los bordes, y las tapas son de color blanco.

Hay una barra redonda de acero con forma de cruz que recorre la parte superior de la portería y está dispuesta en paralelo a la línea de meta. No tiene de más de 10mm de diámetro, pero es lo suficientemente fuerte para desviar el balón. La parte inferior de la barra está a 155mm de la superficie del campo, la barra es de color oscuro para reducir al mínimo la interferencia con los sistemas de visión. La parte superior de la meta está cubierta por una red fina para evitar que la bola pueda entrar en la portería desde arriba. Se sujeta de forma segura a la barra y las paredes de la portería.

La distancia entre las paredes laterales es de 700mm. La meta es de 180mm de profundidad. La distancia desde el borde inferior del larguero a la superficie de juego es de 150mm.

El piso interior de la portería es el mismo que el resto de la superficie de juego.

Las paredes de la portería son de 20mm de espesor.

Las porterías deben estar ancladas firmemente a la superficie de terreno.

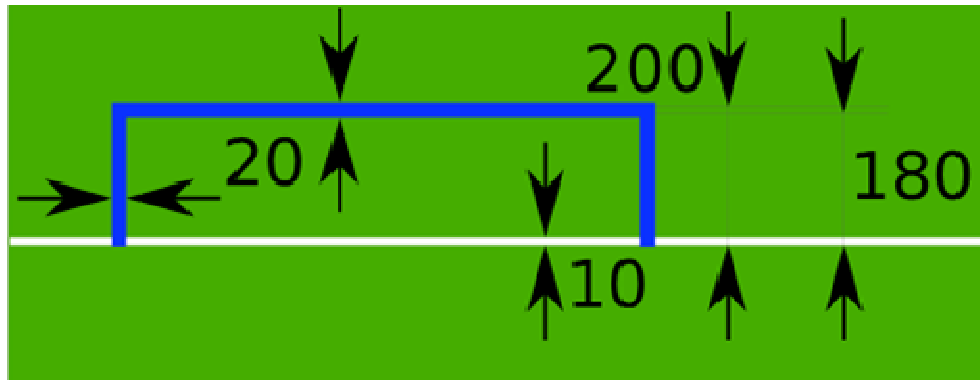


Ilustración 3.2. Portería en detalle.

Equipo para montaje de las cámaras

La barra de montaje tendrá de 4 m de longitud sobre el terreno. La barra se coloca por encima de la línea media del campo de meta a meta. La barra debe montarse de forma segura para que no se descuelgue bajo una fuerza externa pequeña, y no debe doblarse o torsionarse de manera significativa cuando el peso del equipo de vídeo sea añadido.

Sistema de visión compartida

Cada campo está provisto de un sistema centralizado de visión compartida y un conjunto de cámaras compartidas. Este equipo de visión compartida utiliza el software “SSL-Vision” para comunicar los datos de localización a los equipos vía Ethernet en formato paquete que será anunciado por los desarrolladores del sistema compartido de visión antes de la competición. Los equipos tendrán que asegurarse de que sus sistemas son compatibles con la salida del sistema compartido de visión y de que sus sistemas son capaces de manejar las propiedades típicas de los datos de sensorización del mundo real proporcionados por el sistema de visión compartida (incluyendo ruido, retraso, o detecciones ocasionales fallidas y errores de clasificación).

Además del equipo de visión compartida, los equipos NO pueden montar sus propias cámaras u otros sensores externos, a menos que sean específicamente anunciados o permitidos por los respectivos organizadores de la competición.

El sistema de visión compartida en cada campo está bajo mantenimiento de uno o más expertos de visión. El proceso de selección de estos expertos será comunicado por los



organizadores de la competición. El Apéndice B describe las labores de los expertos de visión.

Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

El comité organizador local, debe procurar proporcionar uniformes, las condiciones de luz difusa de la aproximadamente 500 LUX o más brillante. No se utilizará un equipo especial de iluminación especial para proporcionar estas condiciones. El brillo no está garantizado ni se espera que esté completamente uniforme a través de la superficie del campo. Se espera que los equipos sean autosuficientes para hacer frente a las variaciones que se produzcan cuando se utiliza la iluminación ambiente. El comité organizador dará a conocer detalles de la iluminación de acuerdo a la competencia tan pronto como sea posible.

- Decisión 2

Ningún tipo de publicidad comercial, ya sea real o virtual, está permitido en el terreno de juego y el equipo de campo (incluidas las redes y las áreas que delimitan) desde el momento en que los equipos entran en el terreno de juego hasta el descanso y desde éste hasta el momento en que vuelven a entrar en el terreno de juego hasta el final del partido. En particular, ningún material de publicidad de cualquier tipo puede aparecer dentro de los objetivos o las paredes. Los equipos ajenos (cámaras, micrófonos, etc) también se ajustaran a estas normas.

- Decisión 3

El color específico y la textura de la superficie no se especifican y puede variar de una competencia a otra (como los campos de fútbol reales pueden variar). La superficie por debajo de la alfombra será nivelada y dura. Ejemplos de las superficies aprobadas incluyen: cemento, linóleo, pisos de madera, madera contrachapada, mesas de ping-pong y tableros de partículas. Moqueta o superficies acolchadas no están permitidas. Todo el esfuerzo será hecho para asegurar que la superficie sea plana, sin embargo, corresponde a los equipos individuales el diseño de sus robots para hacer frente a la ligera curvatura de la superficie.

LEY 2 - EL BALÓN

Calidades y Medidas

La pelota es una pelota de golf estándar de color naranja. Esta será:

- esférica
- de color naranja
- de aproximadamente 46 g de la masa
- de aproximadamente 43 mm de diámetro



Sustitución de una pelota defectuosa

Si el balón se vuelve defectuoso durante el transcurso de un partido:

- el partido se detiene
- el partido se reanuda mediante la colocación de la bola de sustitución en el lugar donde la primera bola se convirtió en defectuosa.

Si la pelota se vuelve defectuosa mientras no está en juego, es decir, durante un saque inicial, saque de puerta, saque de esquina, tiro libre, un penalti o un saque de banda; el partido se reanuda de acuerdo a esa situación.

El balón no puede ser cambiado durante el partido sin la autorización del árbitro.

LEY 3 – EL NÚMERO DE ROBOTS

Robots

Un partido se juega con dos equipos, cada uno compuesto de no más de cinco robots, uno de los cuales deberá ser el portero. Cada robot debe ser claramente numerado de modo que el árbitro puede identificarlo durante el partido. El portero debe ser designado antes del comienzo del partido. Un partido no puede comenzar a menos que ambos equipos designen antes un portero.

Intercambio

Los robots pueden ser intercambiados. No hay límite en el número de intercambios.

Procedimiento de intercambio

Para el intercambio de un robot, las siguientes condiciones deben ser observadas:

- intercambio sólo puede hacerse durante una interrupción del juego.
- el árbitro ha sido informado antes de que el intercambio se haga.
- el robot de intercambio entra el campo de juego después de que el robot a sustituir ha sido eliminado.

El robot intercambiado entra en el campo de juego en la línea del centro.

Cambiar el portero

Cualquiera de los otros robots pueden cambiar de lugar con el portero, siempre que:

- el árbitro esté informado antes de efectuarse la modificación.
- el cambio se realiza durante una interrupción en el partido.

Robots Expulsados

Un robot que ha sido expulsado se puede intercambiar por otro robot que sale del campo.

Las decisiones del Comité Técnico F180

- *Decisión 1*

Cada equipo debe tener un único controlador de robot encargado de realizar el intercambio y del robot cuando sea necesario. No hay otros miembros del equipo que puedan invadir el área que rodean el campo. El movimiento de los robots por el controlador no está permitido.

LEY 4 - EL EQUIPO DE ROBÓTICA

Seguridad

Un robot no debe tener nada en su construcción, que sea peligroso para sí mismo, otro robot o para los mismos seres humanos.

Forma

El robot debe entrar en un cilindro de 180mm de diámetro y tener una altura de 150mm o menor. Adicionalmente, la parte superior de robot debe aferrarse al tamaño y forma del Patrón Estándar como se describe más abajo en esta misma Ley.

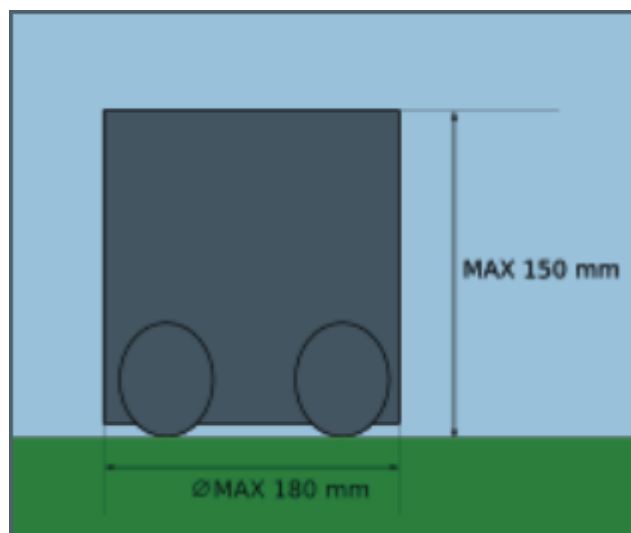


Ilustración 3.3. Dimensiones máximas del robot.

Locomoción

Las ruedas del Robot (u otras superficies que entren en contacto con la superficie de juego) deben ser hechas de un material que no dañe la superficie de juego.

Comunicación inalámbrica

Los robots pueden utilizar la comunicación inalámbrica con las computadoras o las redes situadas fuera del campo.

Color del equipo

Antes del partido, a cada uno de los dos equipos se le asignará un color, siendo amarillo o azul. Todos los equipos tienen que ser capaces de ser de color amarillo y azul. El color de equipo asignado es usado como la marca central de todos los robots del equipo. El layout detallado del marcador está descrito en la siguiente sección “Patrón Estándar”.

Patrón estándar

Todos los equipos participantes deben llevar la pegatina dada según los requerimientos de operación del sistema de visión compartida (ver Ley 1). En concreto, los equipos deben usar un determinado conjunto de colores y patrones estandarizados en la parte superior de su robot.

Para asegurar la compatibilidad con los patrones estandarizados del sistema compartido de visión, todos los equipos deben asegurarse de que todos sus robots tienen una superficie plana en su parte superior con espacio suficiente disponible. El color de la parte superior del robot será de color negro o gris oscuro y tener un acabado mate (no brillante) para reducir los deslumbramientos. El patrón estándar del SSL-Vision está garantizado para reconocer un círculo de 85mm de radio que cortará la parte frontal del robot a una distancia de 55mm desde el centro, como se muestra en la Ilustración 3.4. Los equipos deben asegurarse de que la parte superior de su robot cabe perfectamente en esta área.

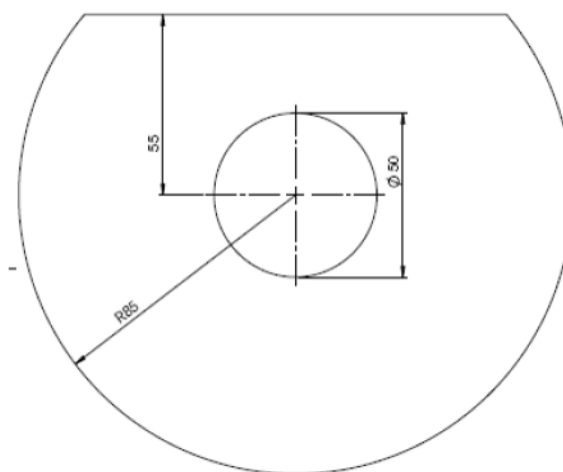


Ilustración 3.4. Área mínima superior del robot

El patrón estándar que se usará por todos los equipos en el RoboCup 2011 se muestra en la Figura 2.5. Nota, los organizadores se reservan el derecho de cambiar el patrón en cualquier momento, si fuese necesario. Por consiguiente, los equipos deben asegurarse de que todavía se mantiene conforme al tamaño de la parte superior del área estandarizado como se representa en la Ilustración 3.5.

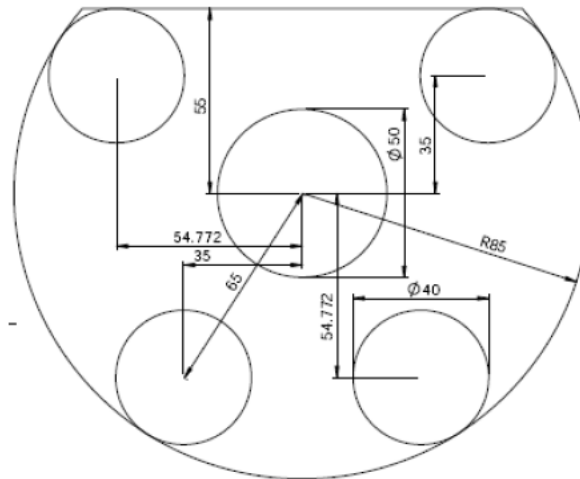


Ilustración 3.5. Patrón estándar para RoboCup 2010

Cada robot debe utilizar el patrón estandarizado con una única combinación de colores seleccionada desde el conjunto estandarizado entre las posibles combinaciones de colores. No puede haber dos robots que usen la misma combinación de colores. El color del punto central determina el equipo y su color será o azul o amarillo.

El papel de colores estandarizado o cartulina con los colores requeridos será dado en la competición. El conjunto legal de asignaciones de colores se muestra en la Ilustración 3.6. Nota, los organizadores se reservan el derecho de cambiar esta asignación de colores en cualquier momento en caso de ser necesario.

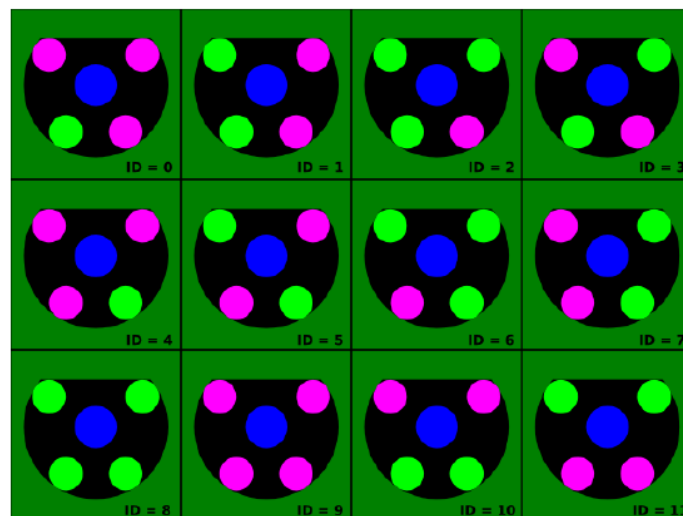


Ilustración 3.6. Asignaciones del color estándar para RoboCup 2010

Se recomienda a los equipos seleccionar la asignación de colores con ID 0-7 ya que se ha comprobado experimentalmente que son más estables, así como que no hay riesgo de que los dos puntos de la parte trasera se confundan con los otros.

Autonomía

El equipo de robots será plenamente autónomo. Las operaciones humanas están permitidas, no se permite introducir información en el equipo durante un partido, excepto en el descanso o durante un tiempo de espera.

Regateo

Los dispositivos que ejercen activamente un movimiento en la bola, para mantener la bola en contacto con el robot, se permiten bajo ciertas condiciones. El giro ejercido sobre la bola debe ser perpendicular al plano del campo. No se permiten dispositivos verticales o parcialmente verticales para mantener la bola en contacto con el robot en los lados del mismo. El uso de dispositivos de regateo también está restringido por la Ley 12, libre indirecto.

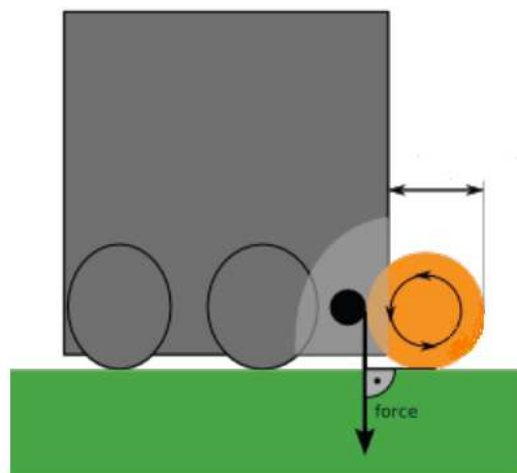


Ilustración 3.7. Sistema de regateo.

Infracciones / Sanciones

Para cualquier infracción de la presente Ley:

- el juego no necesita ser detenido.
- el robot infractor es instado por el árbitro a abandonar el terreno de juego como medida correctora para su equipo.
- el robot deja el campo de juego cuando la pelota deja de estar en juego.
- ningún robot obligado a abandonar el terreno de juego para sancionar a su equipo no vuelve a entrar sin el permiso del árbitro.
- el árbitro comprueba que el equipo del robot es correcto antes de permitir que vuelva a entrar en el terreno de juego.



- al robot sólo se le permite volver a entrar en el terreno de juego cuando el balón está parado.
- un robot que ha sido obligado a abandonar el terreno de juego debido a una infracción de la presente ley y que entra (o vuelve a entrar) al terreno de juego sin el permiso del árbitro es amonestado y se le muestra la tarjeta amarilla.

Reanudación del juego

Si el juego es detenido por el árbitro debido a que se hace necesario toma alguna precaución; el partido se reanudará con un tiro libre indirecto a lanzar por un robot de la parte contraria, desde el lugar donde se encontraba el balón cuando el árbitro detuvo el partido.

Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

Los participantes que utilizan las comunicaciones inalámbricas notificarán al comité organizador local el método de comunicación inalámbrica, potencia y frecuencia. El comité organizador local será notificado de cualquier cambio después de la inscripción tan pronto como sea posible.

Con el fin de evitar la interferencia, un equipo debe ser capaz de seleccionar entre dos frecuencias portadoras antes del partido. El tipo de comunicación inalámbrica se ajustará a las normas legales del país donde se celebre la competición. El cumplimiento de las leyes locales es responsabilidad de los equipos que compiten, no de la Federación RoboCup. El tipo de comunicación inalámbrica puede también ser restringido por el comité organizador local. El comité de organización local dará a conocer cualquier restricción a la comunidad lo antes posible.

- Decisión 2

Los dispositivos de golpeo y disparo están permitidos.

- Decisión 3

Puntas de metal y Velero, con el propósito de la locomoción, están específicamente prohibidos.

- Decisión 4

La comunicación inalámbrica Bluetooth no está permitida.

- Decisión 5

Los colores oficiales serán proporcionados por el comité organizador. Los equipos deben usar los colores oficiales a menos que ambos equipos no estén de acuerdo.



- *Decisión 6*

Adhesivos, como pegamento o cinta no puede ser utilizado con fines de control del balón o para construir dribladores (sistemas de regateo). El uso de dispositivos que utilizan por ejemplo un adhesivo para adherir la pelota a un robot se consideran una violación de la Regla 12, Decisión 4, por "la eliminación de todos los grados de libertad de la pelota". Además, el uso de adhesivos para cualquier propósito en el robot que provoque residuos sobre el balón o el campo, se considera como daño y son sancionados según la Ley 12.

- *Decisión 7*

Un chequeo de las normas se realiza en todos los robots en la competición antes del primer partido. Si algún componente de cualquier robot se considera que infringe una norma debe ser modificado para ser compatible antes de que pueda participar en los partidos.

LEY 5 - EL ÁRBITRO

La autoridad del árbitro

Cada partido es controlado por un árbitro que tiene plena autoridad para hacer cumplir las Reglas de Juego en relación con el partido para el que ha sido nombrado.

Atribuciones y Deberes

El árbitro:

- Hace cumplir las Leyes del Juego.
- Controla el partido en colaboración con los árbitros asistentes.
- Se asegura de que cualquier pelota utilizada cumpla los requisitos de la Ley 2.
- Asegura que el equipo de robótica cumple con los requisitos de la Ley 4
- Informa a los árbitros asistentes de cuando comienzan y terminan los períodos de tiempo, de conformidad con la Ley 7.
- Detiene, suspende o termina el partido, a su discreción, por cualquier infracción de las leyes.
- Detiene, suspende o termina el partido debido a interferencias externas de cualquier clase.
- Detiene el partido si, en su opinión, es probable que un robot cause daños graves a los seres humanos, otros robots o a sí mismo y asegura que se retira del terreno de juego.
- Colocar la bola en una posición neutral, si se queda atrapada durante el juego.
- Permite que el juego continúe si el equipo contra el que se ha cometido una falta se beneficia de tal ventaja y penaliza la falta original si no se produce dicha ventaja en ese momento.



- Castiga con la pena máxima cuando un robot comete más de una falta en el mismo tiempo.
- Toma medidas disciplinarias contra los robots infractores y puede expulsarlos. No está obligado a tomar esta medida inmediatamente, pero debe hacerlo cuando la pelota sale del terreno de juego.
- Toma medidas contra los responsables del equipo que no se comporten de una manera responsable puede a su discreción, expulsarlos del terreno de juego y sus alrededores inmediatos.
- Actúa con el asesoramiento de los árbitros asistentes en relación con incidentes que no ha visto
- Garantiza que ninguna persona no autorizada invada el terreno de juego.
- Reanudará el partido después de haber sido detenido.
- Proporciona al comité técnico un informe del partido que incluye información sobre cualquier medida disciplinaria adoptada contra los responsables del equipo y cualquier otro incidente ocurrido antes, durante o después del partido.
- Comprueba el estado del sistema de visión compartida con el/los experto(s) en visión (ver Apéndice B) antes de cada partido.
- Consiga confirmación del Experto(s) en visión de que ambos equipos reciben los datos de localización del sistema compartido de visión correcta y exactamente.
- Para el juego cuando el/los Experto(s) en visión lo digan durante un partido y deje que el/los Experto(s) en visión diagnostiquen y arreglen el problema. Si el/los Experto(s) en visión confirman que el problema está resuelto entonces el juego será reanudado inmediatamente.

Decisiones del árbitro

Las decisiones del árbitro sobre hechos relacionados con el partido son determinantes.

El árbitro sólo puede cambiar una decisión al darse cuenta de que es incorrecta o, a su discreción, debido al consejo de un árbitro asistente, siempre que no haya reanudado el juego.

Equipo de señalización del Árbitro

El dispositivo necesario se suministra para convertir las señales del árbitro en serie y Ethernet. Las señales de comunicación se transmiten a ambos equipos. Los equipos serán operados por el árbitro asistente. Los detalles del equipamiento serán suministrados por la organización local de Comité antes de la competición.

Señales del Árbitro

Durante un partido, el árbitro de la señal de inicio y fin del juego en la forma habitual. El árbitro asistente enviará señales que reflejarán las decisiones del árbitro a cada uno de los equipos. Ninguna interpretación de las señales del árbitro por los operadores humanos está permitida.

La señal del silbato indica que el árbitro ha parado el juego, y que todos los robots deben separarse 500mm de la pelota para que el árbitro pueda colocar el balón para



reiniciar el sistema. Todos los robots tienen la obligación de 500mm de la bola mientras ésta se mueve a la posición de reiniciar.

Cuando se produce un gol (Ley 10), o una precaución o se produce una salida de la pelota del campo de juego (Ley 12), una señal de información es enviada a los equipos para indicar la decisión del árbitro.

La señal de reinicio indicará el tipo de reinicio.

Los robots deben moverse a posiciones legales a la recepción de esta señal. Para reiniciar otras acciones que no sean un saque inicial (Ley 8) o un penalti (Ley 14), el robot que saque puede patear el balón cuando esté listo, sin esperar más señales del árbitro.

Para un saque inicial (Ley 8), o un penalti (Ley 14), una señal de arranque será enviada para indicar que el robot que lance puede proceder. Esta señal será distinta a otros tipos de señales de reinicio del juego.

Señales que indiquen los períodos de tiempo de espera y el tiempo perdido también se enviará cuando sea necesario.

Se considerará que el árbitro ha dado una señal cuando el árbitro asistente envíe esta señal a los equipos mediante las comunicaciones.

Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

El árbitro (o en su caso, un árbitro asistente) no es responsable de:

- cualquier tipo de perjuicio sufrido por un componente del equipo o un espectador cualquier daño a la propiedad de cualquier tipo.
- cualquier otra pérdida sufrida por cualquier persona, club, empresa, asociación u otro organismo, que es debido o que puede ser debido a cualquier decisión que se tome en virtud de los términos de las leyes del juego o en el caso de los procedimientos normales requeridos para conservar, reproducir y controlar un partido. Esto puede incluir:
 - La decisión de que la condición del terreno de juego o sus alrededores son tales como para permitir o no a la permitir que un partido que tenga lugar.
 - La decisión de abandonar un partido por cualquier razón.
 - Una decisión en cuanto a la condición de los accesorios o equipos utilizados durante un partido como el campo y la pelota.
 - La decisión de detener o no detener un partido debido a la interferencia del espectador o cualquier problema en el área de los espectadores.
 - La decisión de detener o no detener el juego para permitir que un robot dañado pueda ser eliminado del campo de la jugar para su reparación.
 - La decisión de solicitar o insistir en que un robot dañado se retire del terreno de juego para su reparación.
 - La decisión de permitir o no permitir ciertos colores.



- La decisión (en la medida en que esta puede ser su responsabilidad) para permitir o no permitir a las personas (incluyendo el equipo o funcionarios del estadio, oficiales de seguridad, fotógrafos u otros medios, representantes, etc.) estar presentes en las inmediaciones del campo de juego
- Cualquier otra decisión que pueda tomar de acuerdo con las Reglas de Juego o de conformidad con sus obligaciones bajo los términos de la Federación RoboCup o las normas o regulaciones bajo las cuales se juega el partido.

- *Decisión 2*

Los hechos relacionados con el partido serán incluidos tanto si se marca un gol o no, así como el resultado del encuentro.

- *Decisión 3*

El árbitro debe usar un bastón negro, o algún otro dispositivo al reposicionamiento de la bola para reducir el riesgo de interferencias con los sistemas de visión.

- *Decisión 4*

El árbitro podrá ser asistido por aplicaciones de autónomas de arbitraje proporcionados por uno o ambos de los equipos que compiten, si ambos equipos están de acuerdo.

El árbitro podrá ser asistido por una aplicación autónoma o semi-autónoma proporcionada por un equipo que no participe en el partido, según el criterio del árbitro; teniendo en cuenta que la aplicación deberá ser operada y monitorizada de manera neutral.

- *Decisión 5*

La región externa de la superficie del campo que es más allá de 250mm de distancia de la línea divisoria es utilizada como zona de paseo designado por el árbitro y/o el árbitro asistente durante el juego.

Los equipos deben controlar a sus robots para permanecer fuera de esta zona para no interferir con los árbitros.

Los árbitros no son responsables de cualquier obstrucción a los robots o sistemas de visión dentro de esta área.

Sin embargo, los árbitros deberán llevar ropa y zapatos que no contengan ningún color reservado para la bola o los marcadores de los robots.



LEY 6 - EL ÁRBITRO ASISTENTE

Deberes

El árbitro asistente nombrado, cuyas funciones, sin perjuicio de la decisión del árbitro, son las siguientes:

- actuar como cronometrador y llevar un registro del partido.
- operar el equipo de comunicaciones para transmitir las señales del árbitro sobre los enlaces de comunicaciones.
- supervisar a los operadores de robots para evitar que señales ilegales sean enviadas a los robots.
- indicar cuándo se solicita un intercambio.
- indicar cuando una mala conducta o cualquier otro incidente se ha producido fuera de la vista del árbitro.
- indicar cuándo se comete una si los asistentes se acercan más a la acción que el árbitro (esto incluye, en determinadas circunstancias, las faltas cometidos en la defensa del área)
- indicar si, en los penaltis, el guardameta se ha movido hacia delante antes de que el balón ha sido golpeado y si el balón ha cruzado la línea de meta.

Asistencia

Los árbitros asistentes también ayudar al árbitro a controlar el partido, de conformidad con las Leyes de del juego. En el caso de una interferencia indebida o conducta incorrecta, el árbitro dará liberar a un árbitro asistente de sus funciones y para un informe para comité organizador.

Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

Un segundo árbitro asistente se utilizará siempre que sea posible. El árbitro asistente de segunda ayuda al árbitro en la colocación del balón en el campo, así como ayuda a vigilar el cumplimiento de todas las leyes y procedimientos.

LEY 7 - LA DURACIÓN DEL PARTIDO

Períodos de juego

El partido tiene dos periodos iguales de 10 minutos, salvo mutuo acuerdo el árbitro y los dos equipos. Cualquier acuerdo para alterar los períodos de juego (por ejemplo, para reducir cada mitad a 7 minutos a causa de un horario limitado) debe hacerse antes el inicio del juego y deben cumplir con las normas de competencia.



Intermedio

Los equipos tienen derecho a un intermedio a mitad del tiempo medio de un intervalo que no deberá exceder de 5 minutos. Las normas de competencia deben indicar la duración del intermedio o descanso. La duración del descanso puede ser modificado únicamente con el consentimiento de ambos equipos y el árbitro.

Tiempos de espera

A cada equipo se le otorga cuatro tiempos de espera al comienzo del partido. Se permite un total de 5 minutos para todos los tiempos de espera. Por ejemplo, un equipo puede pedir tres tiempos de espera de un minuto de duración y, posteriormente, sólo tienen un tiempo de espera de hasta dos minutos de duración. Los tiempos de espera sólo pueden ser consumidos durante una interrupción del juego. El tiempo es controlado y registrado por el árbitro asistente.

Indemnización por el tiempo perdido

Se tiene en cuenta cualquier período de tiempo perdido para todos a través de: evaluación de los daños a los robots, la eliminación de los robots dañados en el terreno de juego y cualquier otra causa que suponga la pérdida de tiempo. La indemnización por el tiempo perdido es a discreción del árbitro.

Tiempo Extra

Las normas de competencia podrán prever dos tiempos suplementarios iguales a jugar. Las condiciones de la Ley 8 serán aplicadas.

Abandonar el partido

Un partido abandonado se repite a menos que las normas de competencia dispongan otra cosa.

Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

El comité organizador local hará todo lo posible para proporcionar acceso a los equipos de la competición al menos dos horas antes del inicio de la competición. También se esforzará por permitir al menos una hora de tiempo de configuración antes de cada partido. Los participantes deben ser conscientes, sin embargo, que puede ocurrir que este tiempo no se pueda proporcionar.

- Decisión 2

Dentro de estas reglas, el término "interrupción del juego" se usa para describir los momentos en que el modo de juego se encuentra en un estado detenido. El juego no se considera parado si los robots se detienen cuando se les permite golpear la pelota.



Por ejemplo, el juego se detiene después de que la señal de saque (“kickoff”) se ha producido, pero no continúa parado después de la correspondiente señal de “listos” (“ready”). De igual manera, el juego no continuará parado después de una señal de tiro libre “Freekick”.

LEY 8 - INICIO Y REANUDACIÓN DEL JUEGO

Preliminares

Si ambos equipos tienen una frecuencia preferida común para las comunicaciones inalámbricas, el comité organizador local asignará la frecuencia para la primera mitad del partido. Si ambos equipos tienen un color preferido común, el comité organizador local asignará el color de la primera la mitad del partido.

Se lanza una moneda y el equipo que gane el sorteo decidirá qué portería atacará en la primera la mitad del partido.

El otro equipo realiza el saque para comenzar el partido.

El equipo que gane el sorteo tiene el saque inicial para comenzar la segunda mitad del partido.

En la segunda mitad del partido, los equipos cambian de campo.

Si los equipos no están de acuerdo para cambiar campos, pueden permanecer en los mismos que el primer tiempo con el consentimiento del árbitro.

Si ambos equipos tienen una frecuencia común predefinida para las comunicaciones inalámbricas, los equipos deberían cambiar la asignación de esa frecuencia para la segunda mitad del partido. Los equipos pueden acordar no cambiar la asignación de la frecuencia predefinida para la segunda mitad del encuentro con el consentimiento del árbitro.

Si ambos equipos tienen una marca común de color preferido, los equipos deben cambiar los colores de marcado en la segunda mitad del partido. Si lo equipos no están de acuerdo para cambiar la marca de colores, no la cambiarán el consentimiento del árbitro.

Saque desde el centro del campo

Un saque desde el centro del campo es una forma de iniciar o reiniciar el juego:

- en el inicio del partido.
- después de que un gol haya sido anotado.
- al comienzo de la segunda mitad del partido.
- al comienzo de cada período de tiempo adicional, cuando proceda.

Un gol puede ser anotado directamente desde el saque inicial.



Procedimiento

- Todos los robots se encuentran en su propia mitad del campo.
- Los oponentes del equipo que toman el pistoletazo de salida están por lo menos a 500mm de la bola hasta que el balón esta en el juego.
- El balón está parado en el centro del campo hasta que el árbitro da la señal de saque.
- El árbitro da la señal de saque.
- La pelota está en juego cuando es pateado y se mueve hacia delante.
- El lanzador no podrá toca el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- Después de que un equipo anota un gol, el pistoletazo de salida es tomado por el otro equipo.

Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción de los saques de salida el procedimiento será: el saque de salida se repite.

Situando la pelota

Es necesario colocar la pelota, por parte del árbitro, tras un paro temporal para reanudar el partido, mientras la bola está en juego, por cualquier razón no mencionada en otras partes de las leyes del juego.

Procedimiento

Es necesario colocar la pelota, por parte del árbitro, tras un paro temporal para reanudar el partido, mientras la bola está en juego, por cualquier razón no mencionada en otras partes de las leyes del juego.

Infracciones / Sanciones

La pelota se coloca de nuevo: si un robot está a menos de 500 mm de la pelota antes de que el árbitro de la señal.

Circunstancias especiales

Un tiro libre concedido al equipo defensor dentro de su propia área de defensa se realiza desde la posición de tiro cercana a donde se produjo la infracción, elegida por el propio equipo.

Un tiro libre concedido al equipo atacante en el área de defensa de sus oponentes es lazado desde la posición legal predefinida de tiro libre más cercana al lugar donde se produjo la infracción.



Una pelota que esté en condiciones de reiniciar el partido después de que la jugada ha sido detenida temporalmente en el interior de la zona defensiva se coloca sobre la posición legal de tiro libre más cercana a donde se encontraba el balón cuando la jugada se detuvo.

LEY 9 - EL BALÓN EN JUEGO Y PARADO

Balón parado

La pelota está parada cuando:

- ha cruzado los límites del campo sea por el suelo o por el aire.
- el juego ha sido detenido por una señal del árbitro.

Cuando la bola sale fuera de juego, los robots deben seguir estando a 500 mm de la bola mientras ésta se coloca, hasta que la señal de reinicio es dada por el árbitro.

Balón en juego

La pelota está en juego en cualquier otro momento.

Infracciones / Sanciones

Si, en el momento en que el balón entra en juego, un miembro del equipo que saca esta a una distancia inferior de 200mm de la zona de defensa del oponente:

- si un tiro libre indirecto se concede al equipo contrario, el tiro se lanzará desde la ubicación en la que se encontraba la pelota cuando se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de que el balón entra en juego, el pateador toca el balón por segunda vez antes de que lo haya tocado a otro robot:

- se concede tiro libre indirecto al equipo contrario, el lanzamiento será desde el lugar donde se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de que el balón entra en juego, el pateador deliberadamente sostiene el balón antes de que lo haya tocado otro robot:

- un tiro libre directo es concedido al equipo contrario, el lanzamiento será desde el lugar donde se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de darse una señal para reiniciar el juego, el balón no entra en juego en 10 segundos, o la falta de progreso indica claramente que la pelota no entrará en juego en 10 segundos:

- el juego se detiene por una señal del árbitro,
- todos los robots tienen que moverse a 500mm de la pelota, y
- se indica un saque neutral.



Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

Para todos los reinicios en que las leyes establecen que la pelota está en juego bien sea golpeándola o regateando, los robots deben claramente hacer lo posible para que ésta se mueva. Se entiende que la pelota puede permanecer en contacto con el robot o ser golpeada por el robot varias veces a corta distancia, pero bajo ninguna circunstancia el robot mantendrá el contacto o se mantendrá tocando la pelota después de haber recorrido una distancia de 50mm, a menos que el balón haya tocado antes a otro robot.

Los robots pueden utilizar los dispositivos de regateo y patada en los lanzamientos de las faltas.

- Decisión 2

La zona de exclusión de 200mm de la zona de la defensa del oponente se designa para permitir a la defensa de los equipos tomar una posición defensiva contra un lanzamiento sin la interferencia de los oponentes. Este cambio se ha añadido para ayudar a los equipos de defensa contra saques de esquina en los que los equipos usan un “saque-elevado” y la pelota pasa directamente a la zona de defensa.

LEY 10 – MÉTODO DE TANTEO

Puntuación de Gol

Se marca un gol cuando el conjunto de la pelota pasa por encima de la línea de meta, entre las paredes de meta o por debajo del travesaño, sin que se haya cometido una infracción de las reglas de juego con anterioridad por parte del equipo que anotar el gol.

Equipo ganador

El equipo que anota el mayor número de goles durante un partido es el ganador. Si los dos equipos marcan un número igual de goles, o si no marcó ningún gol, el partido se da como empatado.

Las normas de competencia

Para los partidos que terminan en un empate, las normas de competencia podrán estipular un tiempo suplementario, u otro método aprobado por la Federación RoboCup para determinar el ganador del partido.

LEY 11 - FUERA DE JUEGO

La regla del fuera de juego no se usa en esta competición.



LEY 12 - FALTAS Y CONDUCTA ANTIDEPORTIVA

Las faltas y la conducta antideportiva se sancionan como sigue:

Tiro libre directo

Un tiro libre directo es concedido al equipo adversario si un robot comete cualquiera de las siguientes cuatro infracciones:

- Hacer contacto sustancial con un oponente.
- Retener un oponente.
- Sostener el balón deliberadamente (excepto para el guardameta dentro de su ámbito de la defensa propia).
- El segundo robot de la defensa y ocupa el área de la defensa del equipo de tal forma que afecte sustancialmente el juego.

Un tiro libre se lanza desde donde se cometió la falta.

Tiro de Penalti

Un tiro de penalti se otorga si alguna de las anteriores cuatro infracciones es cometida por un robot dentro del área de defensa propia, independientemente de la posición de la pelota, siempre y cuando ésta esté en juego.

Tiros libres indirectos

Un tiro libre indirecto se concede al equipo contrario si el guardameta, dentro de su propia área defensiva, comete cualquiera de las siguientes infracciones:

- Transcurren más de quince segundos mientras sostiene la pelota antes de liberarla de su posesión.
- tiene el balón de nuevo después de haber sido liberado de su posesión y no lo ha tocado otro robot.

Un tiro libre indirecto además es concedido al equipo adversario si un robot:

- Entra en contacto con el portero y el punto de contacto está en el área de defensa.
- Conduce el balón a una distancia superior a 500mm
- Tocó la pelota de tal manera que la parte superior de la bola alcanza una altura superior a 150mm respecto del suelo y el balón entra en la meta de su oponente, salvo que haya sido tocado previamente por un compañero de equipo, o que manteniéndose en contacto con el suelo alcance dicha altura y entre en la meta de su oponente debido a un rebote.
- Patea la pelota de tal manera que supera los 10 m /s de velocidad.
- Comete cualquier otra infracción, que no se haya mencionado
- Anteriormente en la Ley 12, por la que se interrumpirá el juego por precaución o para expulsar al robot.

El tiro libre se lanza desde donde se cometió la falta.



Sanciones disciplinarias

Un equipo será amonestado y recibirá la tarjeta amarilla si un robot comete cualquiera de las siguientes infracciones:

1. es culpable de conducta antideportiva.
2. es culpable de graves y violentos contactos.
3. infringe persistentemente las Reglas de Juego.
4. retrasa la reanudación del juego.
5. no respetar la distancia reglamentaria cuando el juego se reanudará con un saque de meta, saque de esquina o tiro libre.
6. modifica o provoca daños en el campo o pelota.
7. deliberadamente entra o se desplaza dentro de la zona de tránsito del árbitro.

Al recibir una tarjeta amarilla, un robot del equipo penalizado debe moverse inmediatamente fuera y ser sacado del campo. Después de dos minutos de juego (según lo medido por el árbitro asistente utilizando el tiempo de juego oficial) el robot puede entrar de nuevo en el campo en la próxima parada del juego.

Expulsión de sancionados

Un equipo recibe la tarjeta roja si uno de los robots o el equipo es culpable de un comportamiento antideportivo grave. El número de robots en el equipo se reduce en uno después de cada tarjeta roja.

Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size

- Decisión 1

Contacto importante es el contacto suficiente para desalojar al robot de su orientación actual, posición o movimiento en el caso de que se esté moviendo. Cuando los dos robots se mueven a velocidades similares, y la causa de contacto no es evidente, el árbitro permitirá que el juego continúe. Esta ley está diseñada para proteger a los robots que son lentos o permanecen quietos en el momento del contacto, y por tanto deben ser detectados por los sistemas de evasión de obstáculos.

- Decisión 2

Las precauciones para evitar contactos graves y violentos son una manera de desalentar a los equipos al ignorar el espíritu del principio de no contacto. Como ejemplos de infracciones amonestables se incluyen el movimiento incontrolado, las malas evasiones de obstáculos, empujar o girar rápidamente mientras se está junto a un oponente. En un escenario típico, el árbitro podrá advertir al equipo, y se espera que se modifique su sistema a fin de reducir la violencia de su juego. Si el árbitro aún no está satisfecho, dictará una amonestación.

- Decisión 3

Un robot que se coloca en el campo, pero claramente no es capaz de moverse, será sancionado por conducta antideportiva.

- *Decisión 4*

Un robot que está reteniendo el balón, si toma el control total del balón mediante la eliminación de todos sus grados de libertad, por lo general, la fijación de un balón en el cuerpo o rodear un balón con el cuerpo para prevenir el acceso de otros. El 80% de la superficie de la bola cuando se ven desde arriba debe estar fuera de la parte .convexa que rodea el robot. Otro robot debe ser capaz de quitar el balón a otro robot que posee la pelota. Esta limitación se aplica también a todos los dispositivos de regateo y patada, incluso si tal infracción es momentánea.

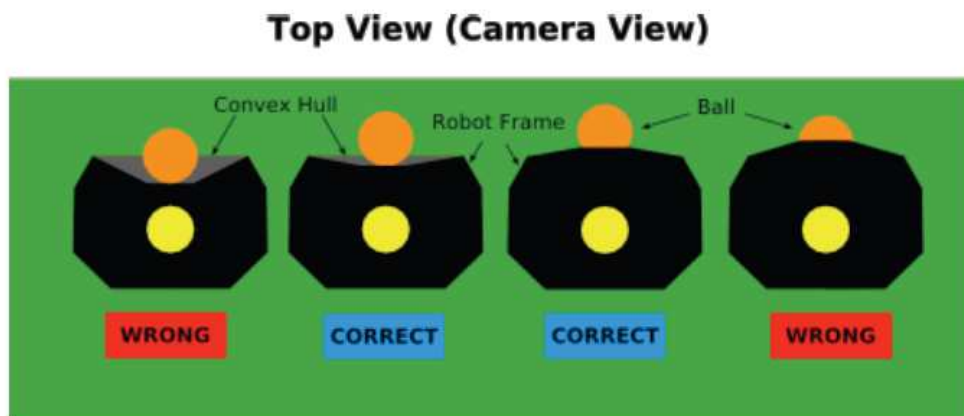


Ilustración 3.8. Cómo se debe coger la pelota.

- *Decisión 5*

Un robot comienza el regateo cuando tiene contacto con el balón y se detiene el regateo cuando hay una separación observable entre la pelota y el robot.

La restricción de la distancia en el regateo se añadió para evitar que un robot con una mecánica superior pudiera tener un indiscutible control de la pelota en el ataque. La restricción de la distancia, no obstante, permite a los atacantes dar y recibir pases, girar con el balón, y detenerse con la pelota. Los sistemas de regateo se pueden utilizar para regatear a grandes distancias con el balón, siempre y cuando el robot pierda periódicamente la posesión, tales pérdidas pueden ser: patear la pelota delante de él, como hacen a menudo los jugadores de fútbol humano. El comité técnico espera que la regla de distancia sea auto-forzada, es decir, que los equipos dispongan de un software que la cumpla con antelación, y se les pueda pedir una demostración previa a una competición.

Los árbitros, sin embargo, podrán seguir señalando faltas y pueden señalar amonestaciones (tarjeta amarilla) por situaciones de violación sistemática de dicha regla.

- *Decisión 6*

La limitación de velocidad de disparo de la pelota ha sido añadida para prevenir que un robot con un disparo mecánicamente superior tenga demasiada ventaja sobre sus



oponentes, o patear la pelota a una velocidad no apta para los espectadores. También se cree que esto ayudará a fomentar el juego en equipo frente a la capacidad individual del robot.

- *Decisión 7*

La norma sobre la subida al marcador cuando el lanzamiento ha sido producido mediante un tiro parabólico o “picado de la pelota”. Esta norma se redacta debido a que en las competiciones anteriores hubo algunas confusiones que se produjeron después de que los robots picaran la pelota y se produjeran goles en propia puerta. Por esta razón, una interpretación estricta de esta regla, es dada aquí:

- Si un robot lanza la pelota picada (no importa a qué altura se desplaza) a un compañero de equipo y la bola posteriormente, entra en propia meta, el tanto se dará como válido para el equipo oponente.
- Si un robot pica pelota por encima de un adversario y el balón, posteriormente entra en la propia meta, después de permanecer por debajo de 150mm de altura todo el tiempo después haber tocado al robot oponente, el equipo oponente también obtiene un tanto.
- Si un robot pica la pelota por encima de un adversario y el balón, posteriormente entra en propia meta después de haber estado por encima de 150mm durante algún tiempo (y no habiendo estado en contacto permanente con el suelo después), después de tocar al robot oponente, el equipo oponente no puntúa.

- *Decisión 8*

La infracción cometida al entrar deliberadamente en la zona de tránsito del árbitro fue añadido para desalentar a los equipos de la conducción de vehículos por esta zona para obtener ventajas tácticas. En particular, debe prevenir que los equipos exploten el hecho de que otros equipos no podrían tener cobertura de visión del árbitro caminando por dicha área. Se entiende que en ocasiones un robot puede entrar en la zona si está fuera de control, o si ha sido empujado a esta área. Estos casos no deben ser considerados infracciones. Sin embargo, la decisión final en cuanto a lo que constituye una violación deliberada del reglamento se deja al árbitro.

LEY 13 - TIROS LIBRES

Tipos de Tiros Libres

Serán directos o indirectos.

Tanto en los directos como en los indirectos, la bola debe ser parada cuando se comete la falta y el lanzador no puede tocar el balón por segunda vez hasta que lo haya tocado otro robot.



El tiro libre directo

- si un tiro libre entra directamente en la meta del oponente, se concede un gol.
- si un tiro libre entra directamente a gol en propia meta, se concede un gol al equipo oponente.

El balón entra en la meta

Se concede un gol solamente si el balón toca posteriormente a otro robot antes de que entre el balón en la portería.

- si un tiro libre indirecto entra directamente en la meta del oponente, se concede un saque de puerta.
- si un tiro libre indirecto entra directamente en la propia meta del equipo, se concede un saque de esquina al equipo contrario.

Procedimiento para los tiros libres

Si el tiro libre se concede dentro del área de defensa, el tiro libre se lanza desde un punto a 600mm de la línea de gol y a 100mm desde la línea de contacto más cercana a donde se produjo la infracción.

Si el tiro libre es concedido al equipo atacante a 700mm de la zona de defensa, la pelota está se traslada al punto más cercano a 700mm desde el área de defensa.

Por el contrario, el tiro libre se lanza desde el lugar donde se produjo la infracción.

Todos los robots oponentes se colocarán a una distancia mínima de 500mm de la pelota.

La pelota está en juego cuando es pateada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Si, cuando se lanza un tiro libre, el oponente más cercano a la bola no se encuentra a la distancia requerida:

- el tiro se repetirá

Toda infracción que se enumera en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción de la presente Ley:

- el tiro se repetirá.

LEY 14 - EL TIRO DE PENALTI

Un tiro de penalti se otorga contra un equipo que cometa una de las cinco infracciones por las que se concede un tiro libre directo, dentro de su área de defensa y mientras la bola está en juego.



Un gol puede ser anotado directamente de un tiro de penalti.

El tiempo adicional permitido para un tiro de penalti se añadirá al final de cada mitad o al final de los períodos de tiempo extra

Posición de la bola y los Robots

El balón:

- se coloca en el punto de penalti.

El robot que lanza el penalti:

- está debidamente identificado

El guardameta defensor:

- se mantiene entre los postes de la portería, toca la línea de meta, y la cara externa de la meta, hasta que el balón ha sido pateado. Se le permite el movimiento antes de que el balón haya sido golpeado, siempre y cuando no se infrinja alguna de estas restricciones.

Los robots que no sean los lanzadores se encuentran:

- dentro del campo de juego.
- detrás de una línea paralela a la línea de gol y a 400mm detrás del punto penalti.

El árbitro

- no da la señal de lanzamiento de penalti hasta que los robots han tomado posición de conformidad con la Ley.
- decide cuando un tiro penal se ha completado.

Procedimiento

- el robot que lanza el penalti, golpea la pelota hacia delante.
- no toca el balón por segunda vez hasta que haya sido tocado por otro robot.
- la pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve hacia delante.

Cuando un tiro de penalti se lanza durante el curso normal del juego, o el tiempo se ha ampliado en la primera mitad o al final del partido para permitir que un lanzamiento de penalti sea lanzado. Se concede un gol si entra directamente o si antes de que el balón pase entre los postes y por debajo del travesaño:

- la pelota toca uno o ambos postes de la portería y/o el travesaño, y/o el portero.

Infracciones / Sanciones

Si el árbitro da la señal de un tiro de penalti y, antes de que el balón esté en juego, se produce una de las siguientes situaciones:

El robot que lanza el penalti infringe las Reglas del Juego:



- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se repetirá el tiro.
- si el balón no entra en la meta, el lanzamiento no se repetirá.

El guardameta infringe las Reglas de Juego:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se concede un gol.
- si el balón no entra en la meta, se repetirá el tiro.

Un compañero del robot que lanza, penetra en el área de los 400mm detrás del punto de penalti:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se repetirá el tiro.
- si el balón no entra en la meta, el lanzamiento no se repetirá.
- si el balón rebota en el guardameta, el travesaño o el poste de la meta y es tocado por el presente robot, el árbitro interrumpirá el juego y reanudará el partido con un tiro libre indirecto a favor del equipo que defiende.

Un compañero del guardameta penetra en la zona de los 400mm detrás del punto de penalti:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se concede un gol.
- si el balón no entra en la meta, se repetirá el lanzamiento.

Un robot de ambos equipos, de la defensa y el equipo atacante, infringen las Reglas de Juego:

- el tiro se repetirá.

Si, tras el cumplimiento de la pena:

- El balón es tocado por un agente externo, y se mueve hacia delante: el tiro se repetirá.
- El balón rebota en el terreno de juego tras tocar al guardameta, el travesaño o los postes, y es entonces tocado por un agente externo: el árbitro detiene el juego. El juego se reanudará con un toque neutral en el lugar donde la pelota tocó al agente externo (véase la Ley 13).

LEY 15 - EL SAQUE DE BANDA

Un saque de banda, es un método de reinicio el juego.

Un gol no puede ser marcado directamente desde un saque de banda.

Un saque de banda se concede:

- cuando la totalidad de la pelota pasa por encima del límite de contacto (línea de banda), ya sea por tierra o por aire.



- desde el punto, a 100mm, perpendicular a la línea de banda donde la pelota cruzó el límite.
- a los opositores del último robot que toca el balón.

Procedimiento

- El árbitro pone el balón en la posición designada.
- Todos los robots oponentes se distancian por lo menos 500mm de la pelota.
- La pelota está en juego cuando es pateada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Cuando un saque de banda se realiza, un oponente está más cercano a la bola de la distancia requerida: el saque de banda se repetirá.

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción: el tiro se repetirá.

LEY 16 - EL SAQUE DE PUERTA

Un saque de puerta es un método de reinicio el juego.

Un gol puede ser anotado directamente por un saque de puerta, pero sólo si entra en la portería contraria.

Un saque de puerta es otorgado cuando:

- la totalidad de la pelota, después de haber sido tocada por un robot del equipo atacante, pasa por encima de la línea de límite de gol ya sea por tierra o aire, y no se concede un tanto de conformidad con la Ley 10.

Procedimiento

- la pelota es pateada desde el punto a 500mm de la línea de gol y 100mm de la línea de banda más cercano a donde la pelota pasó por la línea de gol.
- los opositores siguen estando a 500mm de la bola hasta que el balón está en juego.
- el lanzador no puede jugar el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- la pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia

Para cualquier otra infracción de la presente Ley: el tiro se repetirá.



LEY 17 - EL SAQUE DE ESQUINA

Un saque de esquina es un método de reinicio el juego.

Un gol puede ser anotado directamente de un saque de esquina, pero solamente contra el equipo contrario.

Un saque de esquina se concede cuando:

- La totalidad de la pelota, después de haber tocado un robot del equipo defensor, pasa por encima de la línea de gol, ya sea por tierra o aire, y no se concede un gol de conformidad con la Ley 10.

Procedimiento

- La pelota es golpeada desde la esquina más cercana, a 100mm en la línea de gol y de la línea de banda.
- Los contrarios siguen estando a 500mm de la bola hasta que el balón está en juego.
- El lanzador no puede jugar el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- La pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumera en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción: el tiro se repetirá.

APÉNDICE A - REGLAS DE COMPETENCIA

Este apéndice describe los procedimientos adicionales para la Small Size League.

Tiempo Extra

Si el resultado del partido es de empate después del final del segundo período y el partido necesita terminar con un claro ganador, se jugará un tiempo extra (como se indica en las leyes 7 y 10). Antes de la primera mitad del tiempo extra, habrá un intervalo que no deberá exceder de 5 minutos.

Períodos de juego durante el tiempo extra

El tiempo extra dura dos períodos iguales de 5 minutos, salvo mutuo acuerdo entre el árbitro y los dos equipos participantes. Cualquier acuerdo para alterar los períodos de tiempo extra (por ejemplo, para reducir cada mitad a 3 minutos a causa de un horario limitado) debe hacerse antes del inicio del juego y deben cumplir con las normas de competencia.



Descanso

Los equipos tienen derecho a un descanso en el intervalo entre las dos mitades del tiempo extra. El plazo de tiempo no debe exceder de 2 minutos.

La duración del descanso en dicho intervalo de tiempo puede ser modificado únicamente con el consentimiento de ambos equipos y el árbitro.

Tiempos de espera

Cada equipo tiene asignado dos tiempos de espera en el comienzo del tiempo extra. Se permite un total de 5 minutos para todos los tiempos de espera. El número de tiempos de espera y el tiempo, no utilizados en el juego regular, no se agregan. Los tiempos de espera en el tiempo extra siguen las mismas reglas que en el juego regular (indicado en la ley 7).

Tanda de penaltis

Si el partido termina en empate después del final de la segunda parte de la prórroga, el resultado final se decidirá en los penaltis.

Preparación

Antes del inicio de los penaltis, habrá un intervalo que no deberá exceder de 2 minutos. Este tiempo se designa para ser utilizado por los equipos en el diálogo con el árbitro y sus asistentes para comprobar que la posición del portero es correcta (en la línea) y que todas las demás normas se cumplen como se indica en la ley 14. El árbitro determina (por ejemplo, lanzando una moneda), qué equipo defiende la portería, así como qué equipo tiene que lanzar el primer penalti.

Procedimiento

Durante los tiros desde el punto de penalti, un máximo de 2 robots por equipo estarán en el campo con el fin de evitar interferencias. Los tiros desde el punto penalti se harán alternativamente por parte de ambos equipos hasta que cada equipo haya lanzado 5 sanciones. Si se toma una decisión para un equipo, los lanzamientos se interrumpirán por decisión del árbitro. Para todos los lanzamientos, se aplican las normas de la ley 14.

Un segundo tiro (por ejemplo, si la pelota rebota en la portería o un poste de la portería o el robot que lanza recuperar la pelota) no puntuará; ya que el penalti no será válido si el lanzador vuelve a tocar la pelota después del primer disparo. Durante los lanzamientos, desde el punto penalti no habrá tiempos muertos. Los robots pueden ser intercambiados entre los lanzamientos siguiendo las reglas de intercambio de la ley 3. Como el intercambio de los campos entre ambos equipos costaría demasiado tiempo y se forzaría a los equipos a variar sus sistemas, se usarán ambas porterías.

Si después de 10 tiros no hay un vencedor, cada equipo tiene un lanzamiento de penalti en el mismo orden en que lo hicieran anteriormente. Este procedimiento (un penalti por equipo) se continúa hasta que haya un vencedor.



APÉNDICE B – EXPERTOS EN VISIÓN

Durante las competencias, los expertos en visión están a cargo del sistema compartido de visión de cada campo. La asignación y tiempo de su período de servicio es designado por los organizadores de la competición. Esto deber hecho de tal forma que cada sistema de visión compartido tenga asignado, al menos, un experto en visión.

Deberes

El experto en visión tiene el deber de:

- Comprobar el hardware del sistema compartido de visión e informar de cualquier problema relacionado con esto al TC/ organizadores locales.
- Hacer el proceso de calibración del SSL-Vision cuando sea necesario o los equipos lo requieran durante los tiempos de configuración.
- Calibrar o realizar el mantenimiento durante el partido del SSL-Vision cuando el árbitro lo requiera.
- Antes de cada partido, comprobar que ambos equipos reciben los paquetes del SSL-Vision correctamente.
- Antes de cada partido, comprobar que ambos partidos utilizan los correctos patrones estandarizados, que la altura de sus robots está calibrada con exactitud y que los datos de localización recibidos son correctos.
- Vigilar el estado del sistema compartido de visión durante el partido y reportar inmediatamente cualquier tipo de problema al árbitro.
- Recibir las quejas de los equipos sobre el sistema de visión compartido durante el partido y, si fuera necesario, preguntar al árbitro para parar el juego de tal forma que se pueda diagnosticar y solucionar el problema.
- Avisar al árbitro si hay alguna queja no solucionable de algún equipo acerca del sistema de visión. En este caso, el árbitro, tiene la autoridad definitiva para fallar en cualquier modo con respecto sus poderes y deberes (ver Ley 5), incluyendo la habilidad para avisar y(o sancionar a los equipos de mal comportamiento si las exigencias de los equipos son infundadas y continúan obstruyendo el juego (ver Sanciones Disciplinarias en Ley 12).

3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se ha visto anteriormente en la reglamentación un equipo de fútbol consta de un máximo de 5 robots. Cada uno de ellos debe poderse introducir en un cilindro de 180 mm de diámetro y 150 mm de altura en caso de la implementación de visión global y 225 mm en caso de visión local. Para el caso de visión global se coloca una cámara sobre la barra situada sobre el campo a 4m de altura. En el transcurso del encuentro los robots utilizan comunicación inalámbrica mediante la cual un computador central, que está fuera del campo, les envía información sobre su posición, la estrategia del juego, la posición de sus compañeros de juego, la posición de la pelota, la posición de los robots del equipo contrario...



Los partidos de la liga F180 tienen una duración de 20 minutos, dividido en dos tiempos de 10 minutos cada uno.

Entre las diferentes versiones de competición de Robosoccer, la liga F180 es posiblemente la que requiere mayor intensidad durante los partidos por la velocidad de juego; la pelota llega a alcanzar una velocidad de hasta 10 m/s y los robots se mueven a más de 2,3 m/s.

La velocidad de juego y el control de los robots han dado a la liga la calificación de una “liga de ingeniería”. En ella se aplican disciplinas de la ingeniería como el diseñoelectro-mecánico, teoría de control, electrónica de potencia, electrónica digital y comunicación inalámbrica.

El problema consiste en marcar el mayor número de goles respetando la normativa del juego y considerando el tiempo del partido.

El proyecto Robosoccer del LSI de la UC3M se encuentra aún en fase de desarrollo, por tanto el objetivo a alcanzar es el diseño y construcción de un microrobot como modelo de prueba para posteriormente y una vez alcanzado la optimización construir el modelo definitivo junto con el resto de robots del equipo.

Al comienzo de este proyecto, el robot desarrollado por el LSI se encontraba en una fase bastante avanzada, contando con desarrollos preliminares de sistemas para la adquisición de información y procesamiento de ésta, y dispositivos actuadores de los sistemas motores, disparo y dribbling.

En este proyecto se persigue la optimización, modificación y desarrollo de los sistemas del microrobot prototipo del año 2011 que se detallan a continuación:

- Sistema de locomoción.
- Sistema de disparo.

3.3 SOLUCIÓN ALCANZADA

Dadas las especificaciones del juego, se decide desarrollar un microrobot dotado de visión artificial con las siguientes características:

- Un sistema de procesamiento de datos y de comunicaciones, compuesto por una placa base que incorpora un microprocesador, un sistema de comunicación Wi-Fi y un módulo de entradas/salidas para señales tanto analógicas como digitales.
- Un sistema de locomoción multidireccional compuesto por un conjunto de ruedas omnidireccionales, capaces de moverse en todas direcciones independientemente de su orientación.
- Un sistema de alimentación que energice a todos los sistemas del robot proporcionándole autonomía y permitiendo un movimiento libre sin necesidad de estar conectado a un sistema de alimentación externo.

- La programación necesaria para el control de la velocidad, dirección de los motores, dribbling y disparo de la pelota.
- Un sistema de disparo óptimo para que el robot pueda pasar y disparar en el momento oportuno.
- Un circuito elevador para posibilitar un disparo potente.
- Un sistema de dribbling para que el robot pueda mantener la pelota mientras se desplaza en la dirección necesaria, pivota o regatea o esquiva a algún robot.
- Una estructura sólida en la que poder albergar los sistemas anteriores y una carcasa externa que cumpla con la reglamentación de la competición y que identifique de forma única e inequívoca a cada robot.

3.3.1 Arquitectura del sistema:

La arquitectura del sistema puede ser dividida en cuatro módulos:

1. Sistema de visión
2. Sistema de inteligencia artificial.
3. Sistema de control del árbitro.
4. Los propios robots.

La siguiente figura muestra un esquema de la arquitectura del sistema:

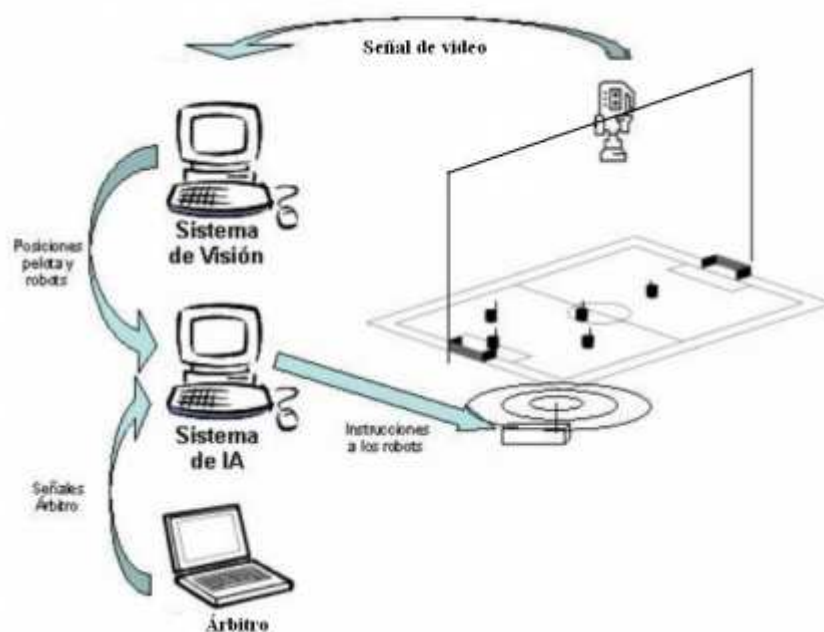


Ilustración 3.9. Arquitectura del sistema



3.3.1.1 Sistema de visión:

El objetivo del sistema de visión es calcular la posición y orientación de los robots en el terreno de juego. Recibe información por medio de una o varias cámaras de video, procesa las imágenes para identificar a los objetos de interés y envía sus resultados al sistema de inteligencia artificial.

3.3.1.2 Sistema de inteligencia artificial:

El sistema de inteligencia artificial recibe la posición y orientación de los robots del equipo y la posición de la pelota y los robots contrarios. Además, el árbitro del partido utiliza un sistema de control para informar al sistema de inteligencia artificial del estado del partido y enviar eventos que afectan el desarrollo del encuentro. La función principal del sistema inteligencia artificial consiste en tomar decisiones estratégicas que afectan el comportamiento de los robots en el encuentro, así como responder a los comandos que el control del árbitro le envía. El sistema de inteligencia artificial envía instrucciones a los robots por medio de un módulo de comunicación inalámbrica.

3.3.1.3 Sistema de control del árbitro:

El personaje del árbitro se encarga de vigilar que el partido transcurra según la reglamentación establecida usando un silbato y su voz. El asistente, según esas indicaciones opera sobre un sistema para controlar el estado del juego enviando las correspondientes señales a los sistemas de inteligencia artificial de los equipos.

3.3.1.4 Robots:

Los robots se encargan de jugar al fútbol y para lograrlo deben ofrecer las siguientes funcionalidades básicas:

- Deben ser capaces de desplazarse dentro de la cancha según la dirección y velocidad que determine el sistema de inteligencia artificial.
- Requieren golpear la pelota a diferentes velocidades para enviar pases y marcar goles.
- Necesitan controlar y mantener el contacto con la pelota, de modo que se puedan desplazar sin perderla.
- Requieren ser capaces de bloquear tiros del equipo contrario para evitar pases y goles.



- Deben recibir la información enviada por el sistema de inteligencia artificial, procesarla y ejecutarla.
- Ser capaces de enviar los datos que requiera el sistema de inteligencia artificial.

Para que cada uno de los robots ejecute las instrucciones que el sistema de inteligencia artificial envía, se requiere que los robots tengan un módulo de comunicación inalámbrica para recibir la información del sistema de inteligencia artificial, un dispositivo de procesamiento central que, de acuerdo con un programa residente en la memoria del robot, interpreta los comandos recibidos por el sistema de inteligencia artificial y envía señales hacia los circuitos de potencia para activar los dispositivos de movimiento del robot, de control y golpeo de la pelota.

3.3.2 Arquitectura del robot:

El diseño del robot se puede dividir en distintos módulos de manera que facilite el diseño y construcción del mismo. Podemos clasificar los módulos de la siguiente manera:

- **Sistema disparador:** es uno de los sistemas mecánicos más importantes del robot junto con el de locomoción. Es el encargado de golpear la pelota y por tanto, de la consecución de goles.
- **Sistema de locomoción:** el medio de locomoción del microrobot se compone de un conjunto de elementos mecánicos y motores que conforman el vehículo móvil y le permiten desplazarse en su ambiente.
- **Sistema de alimentación:** está compuesto por un elemento de almacenamiento de energía o batería y por un subsistema capaz de acondicionar la energía proporcionada por la batería a las necesidades de los sistemas a energizar.
- **Sistema sensorial:** para informar al robot del entorno en el que se mueve es necesario el uso de sensores de distintos tipos.
- **Sistema de dribbler:** se llama dribbler al sistema mecánico responsable del control de pelota mientras el robot se mueve por el campo.
- **Sistema de control:** es el módulo que abarca la inteligencia del robot. El funcionamiento del robot se controla con un controlador comercial RCM 4400 - Rabbit. El controlador se encarga de actuar sobre la etapa de potencia para controlar los motores y recoge datos de los sensores para tomar decisiones sobre cómo ha de responder el robot en todo momento. Además, dicho controlador dispone de un módulo de comunicación Wi-Fi capaz de transmitir y recibir la información sin necesidad de un cable físico.
- **Estructura:** es la parte que sustenta al robot y le proporciona una forma definida. En el diseño de la estructura se ha de tener en cuenta tanto la forma del robot como los materiales escogidos para la realización de la misma, además de las dimensiones establecidas en la normativa de la Robocup SSL.



3.3.3 Sistema disparador:

El sistema disparador es el encargado de golpear la pelota. Constituye uno de los sistemas mecánicos principales del microrobot. Para ganar el partido de fútbol el equipo de robots debe marcar más goles que el oponente, objetivo que podemos alcanzar con un disparador robusto y eficiente.

Las características que ha de tener el disparador son:

- Tamaño pequeño debido a las dimensiones del robot
- Generar gran energía para golpear la pelota
- No sobrepasar la velocidad de disparo establecida en las reglas: 10 m/s
- Capacidad para realizar disparos consecutivos

Existen múltiples alternativas para la construcción del sistema disparador. Podemos encontrar sistemas neumáticos, con servomotores, de muelles o con solenoide. La siguiente tabla muestra una comparativa de estos sistemas [10]:

PROPIEDADES	Neumático	Servomotor	Muelle	Solenoide
Potencia de disparo	→	↓	↑	↑
Tiempo entre disparos	↑	↑	↑	↑
Número de disparos	↓	↑	↑	↑
Modulación de potencia	↑	↑	↑	↑
Espacio requerido	↓	→	↓	↑
Peso	→	↑	↓	↑
Costes	↑	↑	→	↑
Seguridad	↑	↑	↑	↓

→ característica no determinante para la elección del sistema

↑ ventaja del sistema

↓ desventaja del sistema

Hay que considerar que tanto para el caso del muelle como del solenoide, estas características varían en función de los componentes asociados al disparador. En el caso del muelle, tanto la potencia como el tiempo entre disparos dependen del par motor y de la reductora que comprimen el muelle. En el caso del solenoide, la potencia y el tiempo dependen del rango de conversión del convertidor y de la tensión del condensador que almacena la energía.

3.3.4 Sistema de locomoción:

Todo robot móvil, requiere un sistema de control de movimiento. El medio de locomoción del microrobot se compone de un conjunto de elementos mecánicos y motores que conforman el vehículo móvil. Los elementos que permiten el desplazamiento del robot son las baterías, los motores y algún mecanismo especial

capaz de transformar las rotaciones del motor en movimiento útil como pueden ser unas ruedas [15].

El sistema de movimiento y el control que elijamos dependerá del propósito de nuestro robot. La velocidad, el tipo de superficie o la actitud de nuestro robot serán factores determinantes a la hora de elegir un sistema de locomoción. Teniendo en cuenta todas estas características podemos clasificar los robots en función de la tracción que presentan en su desplazamiento:

- **Robots de tracción solidaria en dos ruedas:** un único motor desplaza las dos ruedas. La disposición de las ruedas, tanto por su anchura como separación, está pensada para conseguir que el robot se mueva en línea recta. Este tipo de microrobots presentan velocidad y tracción medias, su principal ventaja es que la capacidad de reacción es elevada, sin embargo la agilidad en los movimientos es baja.

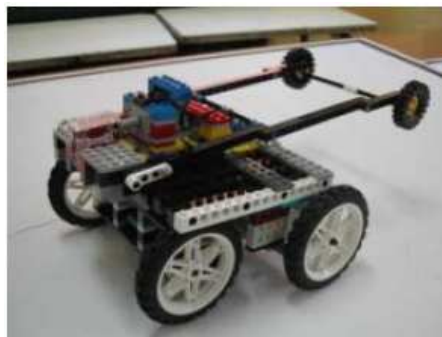


Ilustración 3.10: Robot de tracción solidaria en dos ruedas

- **Robots de tracción a las cuatro ruedas con transmisión por cadenas:** este tipo de microrobots presenta tracción a las cuatro ruedas con dos motores. Al utilizar cuatro ruedas para el desplazamiento las pérdidas por rozamiento son mayores que en el caso anterior. La transmisión se realiza mediante cadenas. La velocidad y capacidad de reacción de estos robots es media. Son poco ágiles en cuanto a movimientos sin embargo la tracción es muy elevada.

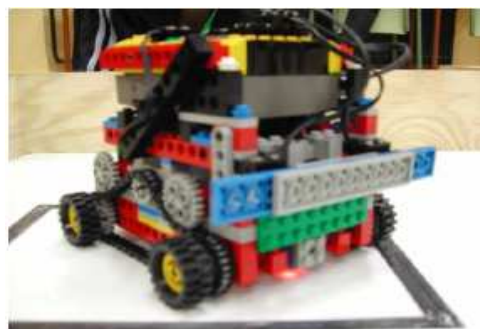


Ilustración 3.11: Robot de tracción a las cuatro ruedas

- **Robots de tracción diferencial con control de dirección:** disponen de dos motores, uno para el avance y otro para el giro. El de avance transmite el movimiento a las ruedas motrices mediante un diferencial, esto permite que giren a distinta velocidad,

como por ejemplo en una curva. Son robots que presentan poca velocidad, y su agilidad y capacidad de reacción en los movimientos no son muy elevadas. Por otro lado, presentan una tracción muy buena, lo que supone una gran ventaja.



Ilustración 3.12: Robot de tracción diferencial

- **Robots de tracción por “orugas”:** presentan mucha tracción, lo que aumenta la capacidad de subir o bajar cuestas. Sin embargo este tipo de robots no alcanza velocidades demasiado altas. El inconveniente de la tracción por orugas reside en los giros ya que hace que esta forma de desplazamiento convierta a este tipo de robots en poco ágiles [16].



Ilustración 3.13: Robots de tracción por “oruga”

La elección de los motores es una tarea más complicada. Es necesario realizar un estudio previo considerando la potencia y dimensiones que sean necesarios para su funcionamiento. Así pues, los motores más grandes y pesados presentan una potencia y par más elevados, pero su gran tamaño, peso y consumo eléctrico hacen que sean desaconsejables para el uso en microrrobótica.

Luego es necesario tener en cuenta todas las características tanto energéticas, par y velocidad, como físicas, dimensiones, peso y consumo. En primer lugar se establecerá en función del funcionamiento del robot la velocidad nominal, par de arranque, aceleración, etc. necesarios y se buscará en el mercado el que mejor se ajusta a nuestras necesidades.

3.3.5 Sistema de alimentación:

De todos los elementos que componen el robot, los motores son los que van a demandar la corriente y tensión máxima. Es por esto, que la elección de las baterías se realizará en función de las condiciones de funcionamiento exigidas por los motores.

En el mercado podemos encontrar varios tipos de baterías recargables, las más comunes son las de plomo, níquel-cadmio y litio. Las baterías de plomo reinan en nuestros automóviles pero sólo destinadas a cubrir las necesidades de arranque, iluminación e ignición (no tienen suficiente energía para mover el coche). Las baterías de níquel-cadmio a falta de mejores baterías, se emplean en artículos de electrónica de consumo como videocámaras y ordenadores o teléfonos móviles. El inconveniente de estos dos tipos de baterías es que se descargan solas demasiado rápidamente y presentan un peculiar efecto memoria que reduce su capacidad, también son altamente contaminantes y su tamaño y peso son muy considerables. Las baterías recargables de ión-litio se pueden recargar hasta 2500 veces y gracias a su bajo precio constituyen la mejor alternativa en el mercado de la electrónica de consumo.

Para la alimentación del robot F180 se optó por utilizar una batería modular. Entre los diferentes tipos que nos ofrece el mercado, se eligió una batería de tipo LiPO que es la que mejor relación potencia/tamaño proporciona. Tiene una tensión nominal de 14,7V y un límite en corriente muy alto, especialmente pensado para aguantar con todos los sistemas que componen el robot a máximo rendimiento durante todo el partido. La siguiente fotografía muestra la batería utilizada en el robot:



Ilustración 3.14: Batería del Robot F180

3.3.6 Sistema sensorial:

Un sensor es un dispositivo que detecta, o *sensa* manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Podemos decir también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro elemento, en este caso el sistema de control [23].

Muchos de los sensores son eléctricos o electrónicos, aunque existen otros tipos. Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (e.g. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores sensados puedan ser leídos por un humano.

A continuación se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos:

- Sensores de temperatura: Termopar, Termistor
- Sensores de deformación: Galga extensiométrica
- Sensores de acidez: IsFET
- Sensores de luz: fotodiodo, fotorresistencia, fototransistor
- Sensores de sonido: micrófono
- Sensores de contacto: final de carrera
- Sensores de imagen digital (fotografía): CCD o CMOS
- Sensores de proximidad: sensor de proximidad

Por lo general la señal de salida de los sensores no es apta para su procesamiento, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, y amplificadores que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

3.3.7 Sistema Dribbler:

La barra de dribbling es el sistema mecánico responsable del control de pelota mientras el robot se mueve por el campo.

Este sistema consiste básicamente en un cilindro horizontal montado al frente del robot. Un motor hace girar la barra a una alta velocidad de tal modo que hace girar la pelota sobre sí misma. La ilustración 3.15 muestra un prototipo de un sistema Dribbler:

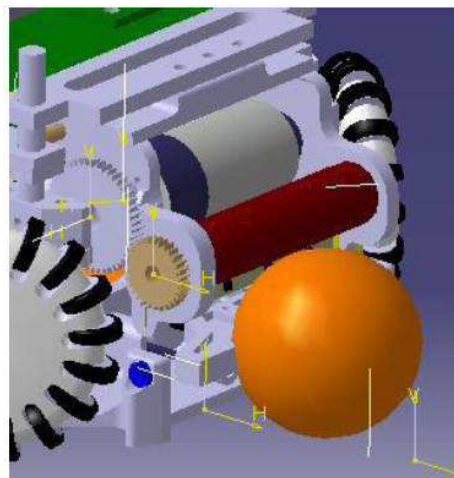


Ilustración 3.15: Dribbler

Para la realización de este mecanismo hay que tener en cuenta la normativa descrita en el apartado 2.4/Regateo y en el 2.12/Decisión 4. Hay que recordar que el giro ejercido sobre la bola debe ser perpendicular al plano del campo para evitar así tiros con efecto y que sólo se permite introducir un 20% de la superficie de la pelota dentro del robot para evitar que se pueda rodear e impedir el acceso de otros robots.

3.3.8 Sistema de control:

Para que un microrobot sea capaz de funcionar por sí mismo necesita un programa informático capaz de procesar la información que recibe de los sensores y actuadores y poder tomar decisiones en consecuencia de ésta. Todo programa informático necesita a su vez una computadora con un microprocesador, una memoria y dispositivos de entrada/salida (E/S), junto a los buses que permiten la comunicación entre ellos. Dada la funcionalidad necesaria del robot emplearemos un sistema de control pequeño, poco pesado y de bajo consumo energético como es un microcontrolador. Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado. Los microcontroladores negocian la velocidad y la flexibilidad para facilitar su uso. Debido a que se utiliza bastante sitio en el chip para incluir funcionalidad, como los dispositivos de entrada/salida o la memoria que incluye el microcontrolador, se ha de prescindir de cualquier otra circuitería. [22]

El sistema de control elegido para el funcionamiento del robot es el controlador comercial RCM 4400 – Rabbit. Dicho controlador está dotado de un módulo Wi-Fi que proporciona comunicación inalámbrica para poder controlar los motores y el resto de sistemas del robot proporcionando al mismo tiempo autonomía a cada robot durante los partidos de liga. A continuación se muestra una fotografía del controlador utilizado:



Ilustración 3.16: Controlador RCM 4400 - Rabbit



3.3.9 Diseño estructural:

El armazón o estructura interna del microrobot es la parte que debe sustentar todo el conjunto que componen el mismo, por lo que se trata de una tarea crítica a tener en cuenta a la hora de realizar su diseño.

Se deben tener en cuenta factores como: peso, robustez, volumen o flexibilidad para incorporar nuevos elementos en futuras ampliaciones o para modificar los elementos ya existentes, etc. Todos estos factores hacen que el diseño y la elección de los materiales del armazón sean muy importantes.

La función de la estructura de un microrobot es ofrecer soporte al resto de elementos, conectándolos entre sí de modo que permita su movimiento y correcto funcionamiento.

La finalidad para la que esté diseñado el microrobot y su funcionamiento determinarán el material y la forma del armazón. Se ha de tener en cuenta factores como el peso y el tamaño, tanto de motores como de baterías, estabilidad, sensores empleados, las circunstancias ambientales en el que vaya a operar el microrobot, etc. para determinar los materiales a utilizar. Existen una amplia gama de materiales que podrían utilizarse para la construcción el armazón y estructura del robot como pueden ser metales, plásticos, de madera, etc.



CAPÍTULO 4

4. SISTEMA DE DISPARO

4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISPARO

El sistema disparador es el encargado de golpear la pelota. Constituye uno de los sistemas mecánicos principales del microrobot. Para ganar el partido de fútbol el equipo de robots debe marcar más goles que el oponente, objetivo que podemos alcanzar con un disparador robusto y eficiente.

Las características que ha de tener el disparador son:

- Tamaño pequeño debido a las dimensiones del robot
- Generar gran energía para golpear la pelota
- No sobrepasar la velocidad de disparo establecida en las reglas: 10 m/s
- Capacidad para realizar disparos consecutivos

Podemos encontrar múltiples alternativas para construir un sistema de disparo, entre ellos cabe destacar los sistemas neumáticos, con servomotores, de muelles o con solenoide.

A continuación se describe brevemente los diferentes sistemas de disparo citados anteriormente:

- **Neumático:**

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la ley de los gases ideales [7] [19].

Un circuito neumático está constituido por los siguientes componentes:

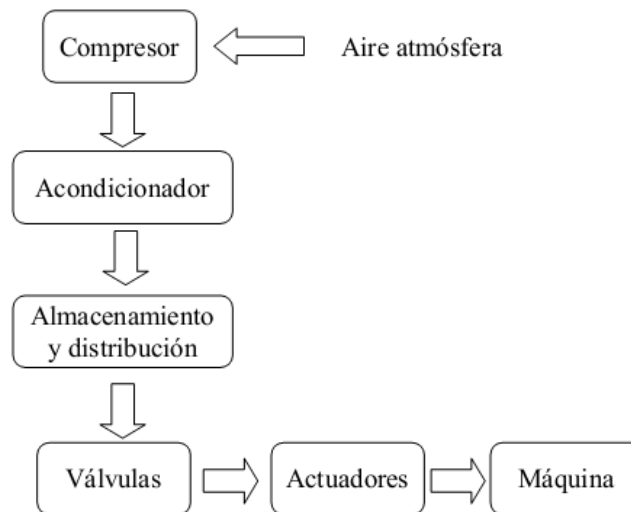


Ilustración 4.1: Componentes de un circuito neumático

El compresor es el dispositivo que comprime el aire de la atmósfera hasta que alcanza una presión adecuada para una determinada aplicación. Existen compresores monoetapa y multietapa cuyo funcionamiento se describe en la siguiente ilustración:

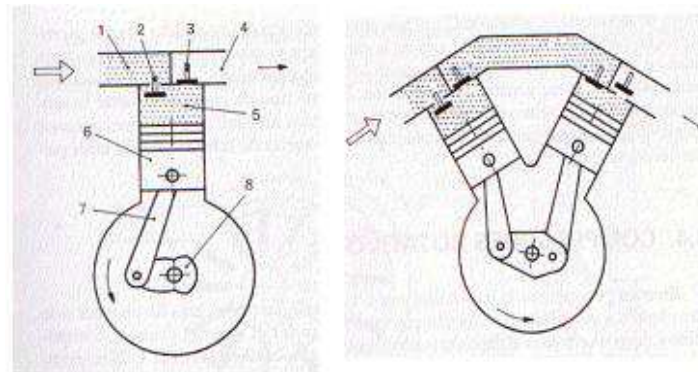


Ilustración 4.2: Compresores monoetapa y multietapa

El aire a la salida del compresor está sucio, a alta temperatura y con exceso de humedad. Los acondicionadores permiten realizar tratamientos de filtrado, secado, refrigerado o regulación de la presión del aire que sale del compresor.

En robots de tamaño pequeño no suele ser necesario el uso de compresores y acondicionadores ya que en la mayoría de los casos se utilizan cartuchos comerciales de CO₂ comprimido.

Para el almacenamiento y distribución se emplean acumuladores y conductos a través de los cuales circula el aire.

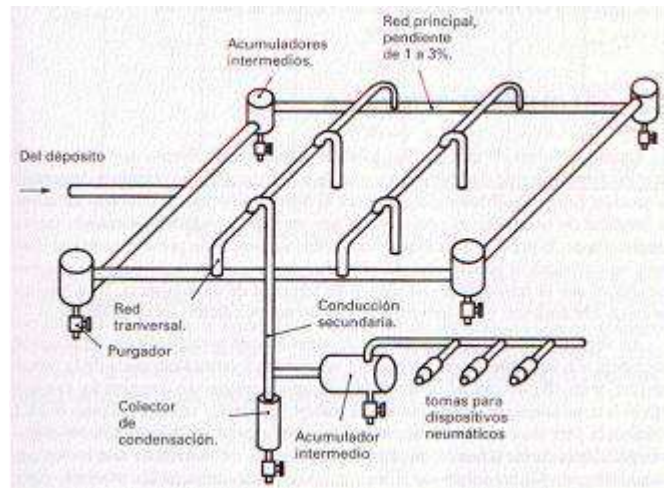
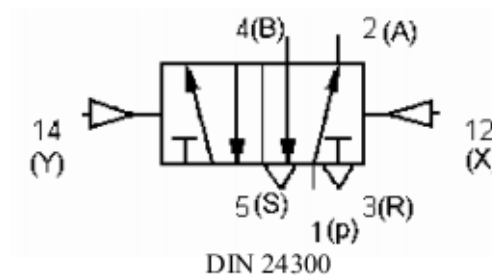


Ilustración 4.3: Acumuladores y conductos

Las válvulas distribuidoras son los elementos de control encargados de abrir o cerrar el paso del aire según sea necesario. El accionamiento de las válvulas puede ser manual, mecánico o eléctrico.



P = Alimentación de aire comprimido
A,B,C = Salidas de trabajo
R,S,T = Escape de aire
X,Y,Z = Conexión de mando

CETOP

1 = Alimentación de aire comprimido
2 y 4 = Salidas de trabajo
3 y 5 = Escape de aire
12 y 14 = Conexión de mando

Ilustración 4.4: Esquema de una válvula

Los actuadores más comunes son los cilindros, son los encargados de transformar la presión del aire en trabajo mecánico. Pueden ser de simple o doble efecto.

Los cilindros de simple efecto tienen una posición de reposo y al insuflar aire empujan el pistón hacia fuera. Cuando se deja de meter aire un muelle lleva el pistón a su posición inicial.

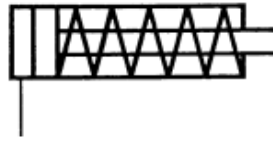


Ilustración 4.5: Cilindro de simple efecto

Los cilindros de doble efecto no tienen posición de reposo. El aire se insufla por la parte izquierda y se mantiene en esta posición hasta que se cambie el sentido de la circulación del aire, inyectándolo por la derecha y dejándolo escapar por la izquierda.

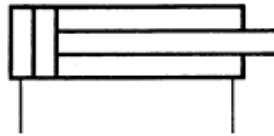


Ilustración 4.6: Cilindro de doble efecto

- **Servomotores**

Un servomotor (también llamado Servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica por su pequeño tamaño y bajo coste [8]. La siguiente ilustración muestra el servo de uso más común, el Futaba S3003:

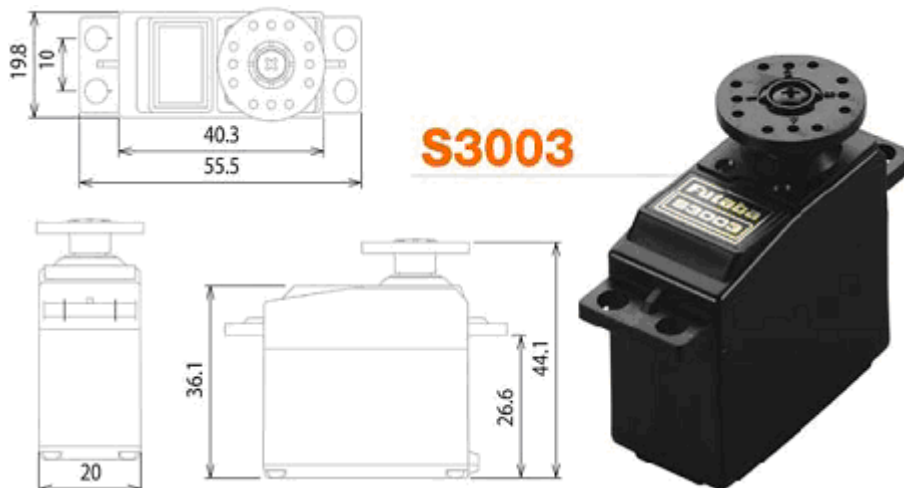


Ilustración 4.7: Servo Futaba S3003

La estructura interna de un servo se compone de:

- Motor de corriente continua: es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.
- Engranajes reductores: se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en torque.
- Circuito de control: este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.

Los servomotores tienen 3 terminales:

- Terminal positivo: Recibe la alimentación del motor (4 a 8 voltios)
- Terminal negativo: Referencia tierra del motor (0 voltios)
- Entrada de señal: Recibe la señal de control del motor

Dependiendo del modelo del servo, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje. El ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal. Cada servo motor, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación.

Para poder emplear un servomotor como sistema de disparo es necesario convertir el giro en un movimiento lineal utilizando una transmisión como se indica en la siguiente ilustración:

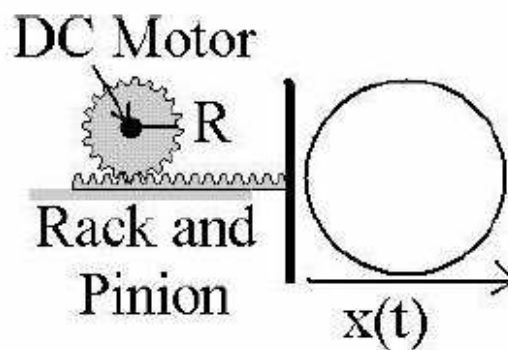


Ilustración 4.8. Disparo con servo

- **Muelle**

Se conoce como muelle o resorte a un operador elástico capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir una deformación permanente cuando cesan las fuerzas o la tensión a las que es sometido [17].

Son fabricados con materiales muy diversos, tales como acero al carbono, acero inoxidable, acero al cromo silicio, cromo-vanadio, bronce, plástico, entre otros, que presentan propiedades elásticas y con una gran diversidad de formas y dimensiones.



Ilustración 4.9. Muelle

De acuerdo a las fuerzas o tensiones que puedan soportar, se distinguen tres tipos principales de resortes:

- **Resortes de tracción:** soportan exclusivamente fuerzas de tracción y se caracterizan por tener un gancho en cada uno de sus extremos. Estos ganchos permiten montar los resortes de tracción en cualquier posición.
- **Resortes de compresión:** están especialmente diseñados para soportar fuerzas de compresión. Pueden ser cilíndricos, cónicos, bicónicos, de paso fijo o cambiante.
- **Resortes de tensión:** son aquellos sometidos a fuerzas de torsión o momentos.

Existen muelles que pueden operar tanto a tracción como a compresión.

La manera más sencilla de analizar un resorte físicamente es mediante su modelo ideal global y bajo la suposición de que éste obedece la Ley de Hook. Se establece así la ecuación del resorte, donde se relaciona la fuerza F ejercida sobre el mismo con el alargamiento, contracción o elongación x producida, del siguiente modo:

$$F = - k \cdot x \quad \text{siendo} \quad k = \frac{A \cdot E}{L}$$

Donde k es la constante elástica del resorte, x la elongación (alargamiento producido), A la sección del cilindro imaginario que envuelve el muelle y E el módulo de elasticidad del muelle.

Para emplear un muelle como sistema de disparo se necesita un motor capaz de contraer el resorte y soltarlo cuando sea necesario como se indica en la siguiente ilustración:

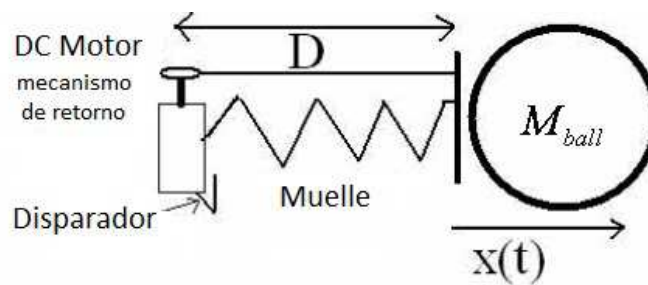


Ilustración 4.10. Disparo con muelle

- **Solenoides:**

Un solenoide es cualquier dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme. [18]

Un ejemplo teórico es de una bobina de hilo conductor aislado y enrollado helicoidalmente, de longitud infinita. En ese caso ideal el campo magnético sería uniforme en su interior y, como consecuencia, fuera sería nulo.

En la práctica, una aproximación real a un solenoide es un alambre aislado, de longitud finita, enrollado en forma de hélice o un número de espirales con un paso acorde a las necesidades, por el que circula una corriente eléctrica. Cuando esto sucede, se genera un campo magnético dentro de la bobina tanto más uniforme cuanto más larga sea ésta.

La bobina con un núcleo adecuado se convierte en un electroimán. Se utiliza en gran medida para generar un campo magnético uniforme.

Se puede calcular el módulo del campo magnético dentro de la bobina según la ecuación:

$$H=N*I/L$$

Donde N es el número de espiras del solenoide, I la corriente que circula y L la longitud total del solenoide.

Este tipo de bobinas es utilizado para accionar un tipo de válvula llamada válvula solenoide, que responde a pulsos eléctricos respecto de su apertura o cierre. Cuando la corriente está huyendo en la bobina, las líneas de fuerza salen del solenoide por uno de sus extremos, el polo norte, y entran por el extremo opuesto, el polo sur. Esas líneas de fuerza se aprovechan para que el núcleo metálico sea impulsado con fuerza para que el disparador se mueva. La línea 4.11 es una representación de cómo actúan las líneas de fuerza del solenoide. Las dos leyes básicas que gobiernan los solenoides son la Ley de Faraday y la ley de Ampere.

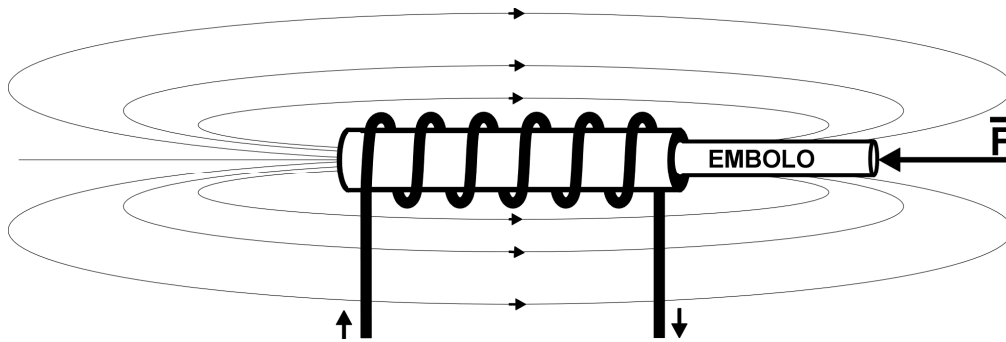


Ilustración 4.11. Líneas de fuerza del solenoide.

Los solenoides se pueden clasificar en:

- **Solenoides giratorios:** son aquellos que proporcionan una carrera rotacional que se mide en grados. Suelen tener un retorno mediante muelle para devolver el núcleo móvil a la posición inicial.
- **Solenoides lineales:** son aquellos que proporcionan una carrera lineal en cualquier dirección. Pueden ser de tipo Pull en el que la ruta electromagnética tira de un émbolo hacia el cuerpo del solenoide, o de tipo Push en el cual el émbolo o eje se empuja hacia fuera de la caja, o tipo Push / Pull que ofrece los dos movimientos en función de la polaridad de tensión a la que es sometido. Muchos tienen un retorno por muelle para devolver el émbolo a la posición inicial.

Los elementos necesarios para construir un sistema de disparo a partir de un solenoide son:

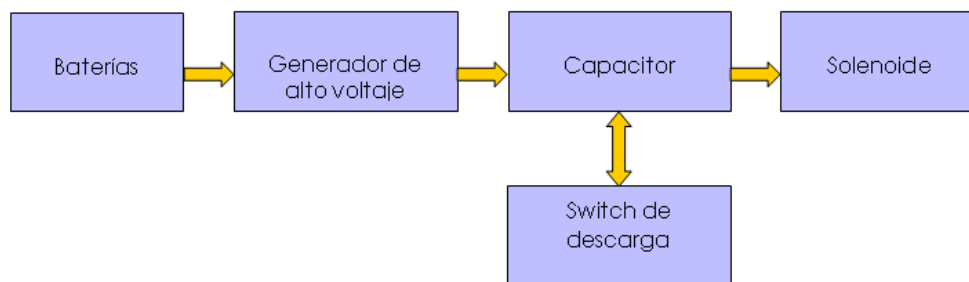


Ilustración 4.12. Sistema de disparo usando un solenoide

El generador de alto voltaje eleva la tensión de la batería hasta la necesaria para golpear la pelota a la velocidad requerida. Esa tensión se almacena en el capacitor o condensador. Mediante el switch de descarga se envía la señal de disparo que permitirá realizar la descarga del condensador activando el solenoide.



4.2 COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS DE DISPARO

La siguiente tabla permite comparar los distintos sistemas de disparo descritos en el apartado anterior [10]:

PROPIEDADES	Neumático	Servomotor	Muelle	Solenoides
Potencia de disparo	→	↓	↑	↑
Tiempo entre disparos	↑	↑	↑	↑
Número de disparos	↓	↑	↑	↑
Modulación de potencia	↑	↑	↑	↑
Espacio requerido	↓	→	↓	↑
Peso	→	↑	↓	↑
Costes	↑	↑	→	↑
Seguridad	↑	↑	↑	↓

→ característica no determinante para la elección del sistema

↑ ventaja del sistema

↓ desventaja del sistema

El sistema neumático no permite controlar la potencia de disparo a no ser que se utilice un regulador de caudal o presión. Este sistema requiere de mucho espacio libre para poder instalar todos los componentes necesarios. Por otro lado, el número de disparos está condicionado al tamaño o número de cartuchos de aire comprimido.

Un sistema de disparo basado en un servomotor ofrece muchas ventajas como sencillez, control de la potencia de disparo y números de disparos ilimitados. Sin embargo, la potencia de disparo que ofrece un servo es muy baja, característica fundamental en la competición de Robocup.

El sistema de muelle puede permitir mayores potencias de disparo utilizando un muelle fuerte. Pero el uso de un muelle de tales características significa la necesidad de un motor de elevado par para poder comprimirlo. Para poder controlar la potencia de disparo podría utilizarse un servomotor, de modo que el resorte se comprimese en función del giro del servo. El mayor inconveniente que presenta este sistema es el espacio requerido para la instalación del muelle, el servo y el motor, y como consecuencia el peso de estos componentes.

El sistema de disparo basado en un solenoide puede ser capaz de permitir una alta potencia de disparo, número de disparos ilimitados y capacidad de controlar la potencia mediante el interruptor de descarga. El mayor inconveniente que presenta son los altos valores de tensión y corriente requeridos.

Hay que considerar que tanto para el caso del muelle como del solenoide, estas características varían en función de los componentes asociados al disparador. En el caso del muelle, tanto la potencia como el tiempo entre disparos dependen del par motor y de la reductora que comprimen el muelle. En el caso del solenoide, la potencia y el tiempo

dependen del rango de conversión del convertidor y de la tensión del condensador que almacena la energía.

4.3 SISTEMA DE DISPARO DEL PROTOTIPO 2010 / 2011

En el año 2010 se consideró que el sistema de disparo más adecuado para competir en la Robocup era el solenoide por ofrecer mejores prestaciones que el resto de los sistemas citados. [9]

Se optó por un solenoide comercial, el RP 16X16-ID, cuyas características principales son:

- Tipo push
- Potencia 38 W
- Anchura 23.5 mm
- Longitud del cuerpo 50.8 mm
- Ciclo completo 10%
- Peso 161 g



Ilustración 4.13. Solenoide RP 16X16-ID

Para conseguir el retorno del solenoide a la posición inicial se colocó un muelle como se puede ver en la siguiente imagen:



Ilustración 4.14. Solenoide con muelle

La potencia de disparo del solenoide está ligada a la carga acumulada en el condensador como se ha explicado en el primer apartado de este capítulo. Se hicieron múltiples experimentos en el laboratorio en los que quedó demostrado que según aumentaba la tensión del generador para un condensador dado (470 μ F) aumentaba la potencia de disparo.

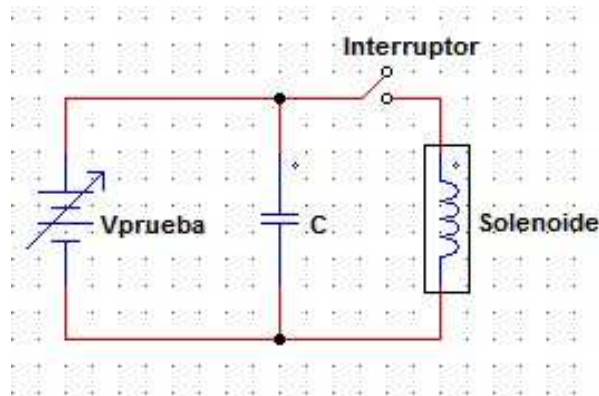


Ilustración 4.15. Circuito de prueba del solenoide

Se hicieron pruebas utilizando varios condensadores en paralelo basándose en el esquema de la ilustración 4.15 y finalmente se concluyó que el método idóneo era emplear dos condensadores en paralelo de 1500 μF de 250 V.

Para transmitir la energía almacenada en los condensadores se utilizó un transistor mosfet de potencia que actuaba como interruptor y un amplificador operacional para conseguir los 5 V de alimentación del transistor.

Para conseguir disparos a distintas velocidades se ajustaron los pulsos enviados por el microprocesador al mosfet interruptor. Así pulsos cortos implicarían disparos lentos, y pulsos largos disparos rápidos de gran potencia.

4.4 SISTEMA DE DISPARO DEL PROTOTIPO 2012

Analizando los resultados obtenidos en el sistema de disparo del prototipo 2010 / 2011 se encontraron varios problemas. El sistema empleaba aproximadamente 30 segundos en cargar los condensadores a la máxima tensión de disparo resultando demasiado lento para realizar tiros consecutivos durante el partido. Por otro lado, se observó que el sistema resultaba poco fiable ya que no siempre los condensadores se cargaban a la tensión deseada. Posiblemente el origen de ambos problemas radicaba en el elevador de tensión.

En el año 2012 se propuso un nuevo sistema de disparo basado en el sistema de muelle y servomotor visto anteriormente.

El fundamento de este nuevo sistema es el empleo de un pistón accionado por un motor de corriente continua. La transmisión se realiza gracias a una reductora basada en la desmultiplicación de un tornillo sin fin.

El pistón fue fabricado en aluminio de una sola pieza mediante torneado. Se eligió este material por ser ligero y tener unas buenas propiedades mecánicas.

La siguiente fotografía muestra el pistón construido para el sistema de disparo del prototipo 2012:



Ilustración 4.16. Pistón

El espárrago del pistón sirve a su vez de guía para el muelle encargado de almacenar energía. Para ajustar la tensión inicial del muelle se fabricó una pieza cilíndrica hueca (Ilustración 4.17) que, en función de la posición donde se fijara al espárrago del pistón, limitaría la fuerza máxima a desarrollar por el muelle.

Así pues, si la pieza se fija al comienzo del espárrago el muelle queda a penas sin comprimir en la posición inicial, pudiéndose comprimir posteriormente todo su recorrido almacenando la máxima energía posible y el pistón golpearía a la pelota con la máxima fuerza. Sin embargo, si la pieza se fija próxima al tope del espárrago el muelle queda muy comprimido en su posición inicial y el recorrido a comprimir del muelle sería menor, almacenando menor energía, por lo que pistón golpearía a la pelota con menor fuerza.

Para fijar esta pieza al espárrago se utilizan dos tornillos prisioneros a 90 grados que permiten desmontar la pieza del espárrago y poder moverla de posición como se puede apreciar en la siguiente fotografía:



Ilustración 4.17. Limitador de la fuerza del muelle

Como se ha citado anteriormente el pistón es accionado por un motor de corriente continua. El utilizado para el prototipo del disparador es un simple motor de impresora (Ilustración 4.18) ya que presentan un volumen reducido y un par elevado para sus dimensiones. El motor empleado es del tipo “Paso a Paso” en configuración a 4 hilos (dos devanados).



Ilustración 4.18. Motor de corriente continua

El control del motor se realizó mediante una placa diseñada para tal propósito cuyo esquema se muestra en la ilustración 4.19. Dicha placa se basa en la utilización de un secuenciador L297 junto con un driver de potencia de puente en H L298. Dado que se necesitaba emplear la máxima potencia posible del motor, se optó por configurar el secuenciador en la opción de medio paso por pulso. El control de la placa se realiza empleando solo dos señales discretas, una para comandar el sentido de giro del motor, que se traduce en el avance o retroceso del carrito, y una segunda que indica el número de pasos que ha de girar el motor, es decir, la posición.

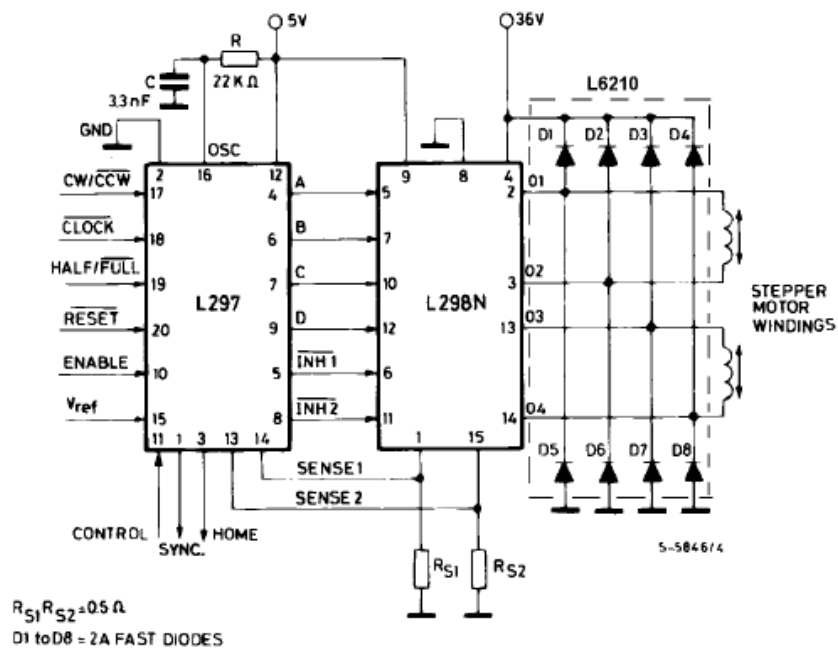


Ilustración 4.19. Esquema de la placa de control

A continuación se muestra una fotografía de la placa de control construida basándose en el esquema anterior:

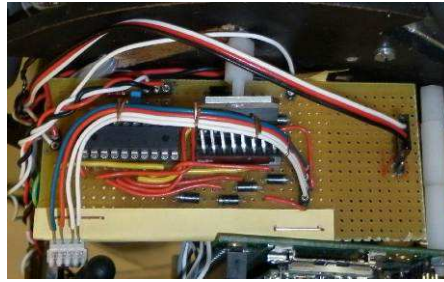


Ilustración 4.20. Placa de control

La energía del motor se transmite al pistón mediante un sistema compuesto por un tornillo y un carrete (ilustración 4.21). El tornillo actúa como reductora convirtiendo la alta velocidad del motor en el par necesario para comprimir el muelle. El carrete sirve de interfaz entre el tornillo reductor y el pistón. El carrete tiene incorporados una tuerca utilizada para desplazarse por el tornillo y un sistema de gatillo que sujeta el pistón durante la compresión y lo suelta para efectuar el disparo.



Ilustración 4.21. Carrete

El sistema de gatillo consiste en una barra articulada y accionada por un servomotor que permite retener el pistón dentro del carrete y posteriormente soltarlo.

En la ilustración 4.22 se muestra el sistema gatillo unido al servomotor (fotografía izquierda) y el sistema gatillo ensamblado sobre el conjunto final del disparador (fotografía derecha):

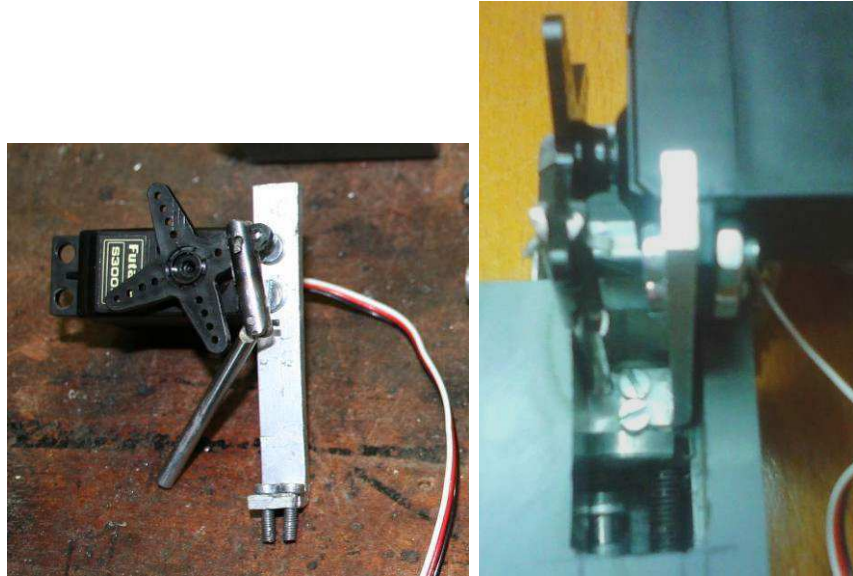


Ilustración 4.22.Sistema de gatillo

Todos los elementos anteriormente mencionados se ensamblan sobre un bastidor (Ilustración 4.23). El material elegido para su fabricación fue PVC por ser un material muy ligero y fácilmente mecanizable mediante fresado. Otra opción era fabricarlo de aluminio como el resto de piezas, pero dado que este componente no requería soportar esfuerzos mecánicos se optó por el PVC. Este bastidor tiene como misión mantener la integridad estructural del disparador.



Ilustración 4.23.Elementos ensamblados al bastidor

Se colocó una chapa de aluminio, como se puede apreciar en la fotografía anterior, sobre el bastidor para mantener centrado el tornillo reductor, asegurando de este modo que el carrete sigue una trayectoria lineal por el interior del bastidor. De no haber empleado esta chapa, cuando el tornillo girase por la acción del motor, podrían ocurrir desviaciones en su extremo respecto al eje longitudinal. Este comportamiento haría que

la dirección de avance del carrito no fuera lineal y lo hiciera chocar contra la pared del bastidor dando lugar a un funcionamiento incorrecto.

A continuación se describe el funcionamiento global del disparador diseñado para el prototipo 2012:

- 1) El motor gira en el sentido de avance.
- 2) El tornillo reductor empuja el carrito junto con el sistema de gatillo hacia delante.
- 3) Una vez que el carrito ha llegado a la altura del pistón sin comprimir se cierra el sistema de gatillo para retener el pistón dentro del carrito.
- 4) El motor gira en el sentido de retroceso.
- 5) El tornillo reductor tira del carrito junto con el sistema de gatillo y el pistón hacia atrás comprimiendo a su vez el muelle.
- 6) Una vez que el carrito llega a su posición deseada (fuerza deseada de disparo) se mantiene en esta posición hasta que se requiera realizar un disparo.
- 7) Llegado el momento de disparo se abre el sistema de gatillo liberando el pistón del carrito. El pistón se moverá a gran velocidad gracias a la descompresión del muelle golpeando con fuerza la pelota.
- 8) Realizado el disparo, el pistón queda en su posición inicial y se volvería a repetir la secuencia para volver a realizar un nuevo disparo.

Dadas las limitaciones de espacio de las que se disponen, fue necesario desplazar el motor de la posición donde se pensaba inicialmente en la cual el motor quedaba unido físicamente al tornillo reductor como se indica en la ilustración siguiente:

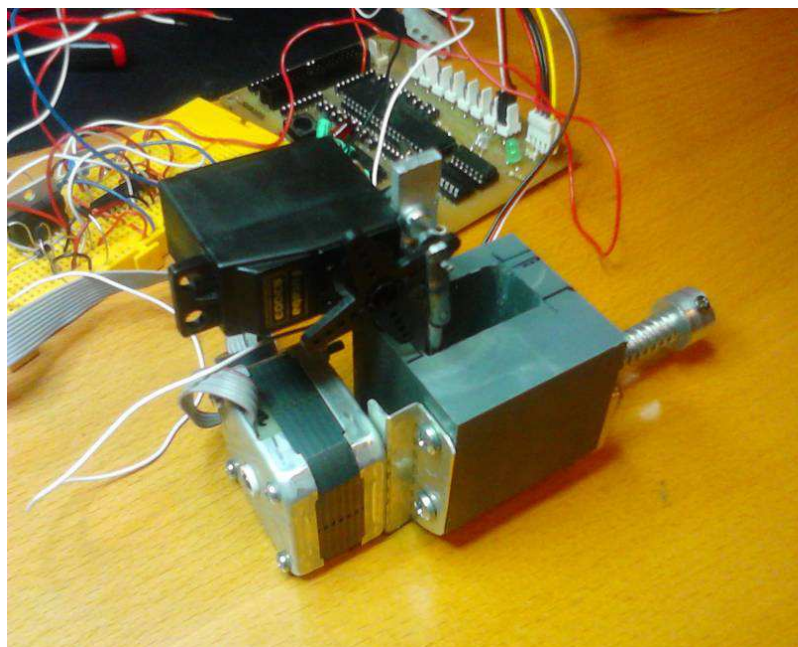


Ilustración 4.24. Configuración inicial del motor

La solución por la que se optó fue la de desplazar el motor respecto al eje del tornillo y unirlo a éste mediante un sistema de correa como se muestra a continuación:



Ilustración 4.25.configuración final del motor



CAPÍTULO 5

5. SISTEMA DE LOCOMOCIÓN

5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOCOMOCIÓN

Se entiende por locomoción el desplazamiento del microrobot por el ambiente en el que va a desarrollar su tarea y para el cual es necesario la utilización de diversos elementos motrices, generalmente ruedas, motores eléctricos y baterías para su alimentación.

Los sistemas de locomoción de los robots de rodadura pueden clasificarse en función de los distintos tipos de tracción [4] [8]:

- **Tracción diferencial:**

Es el tipo más simple de tracción. Consta de uno, dos o más ejes de dos ruedas motrices. Cada una de las ruedas va dotada de un motor, de forma que los giros se producen por diferencia de velocidades entre las ruedas de un mismo eje. Si se emplean sólo dos ruedas motorizadas, será necesario colocar ruedas locas en el resto del robot para mantener el equilibrio y el movimiento de rodadura sin fricciones con el suelo. Permite hacer giros sobre si mismo (como un tanque), girar sobre una rueda (como un compás), o girar mientras se avanza (como en un coche), todo ello dando distintas velocidades y direcciones de giro a los motores. Este sistema es muy flexible, pudiendo trabajar con el robot en espacios muy limitados gracias a sus posibilidades de giro. Presentan el inconveniente de que este tipo de tracción es muy sensible a la velocidad relativa de las ruedas, así pequeños errores producen diferentes trayectorias.

En cada instante de tiempo, las ruedas izquierda y derecha deben seguir una trayectoria que se mueva alrededor del ICC a la misma velocidad angular como se muestra a continuación en el esquema:

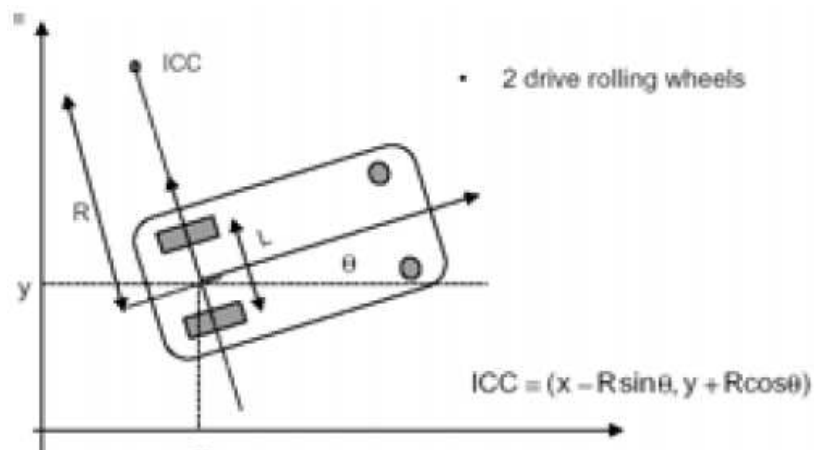


Ilustración 5.1: Tracción diferencial

- **Ruedas directrices:**

Este sistema consta de tracción y dirección independientes, formado por tres ruedas con odometría en las dos ruedas traseras. La dirección y tracción viene proporcionada por la rueda frontal. Con este tipo de estructura se puede tener un control muy fino sobre el ángulo de giro del robot. El inconveniente es que el radio de giro del robot es muy limitado, ya que la tracción trasera no es diferencial y los ejes no pueden girar a distintas velocidades, reduciéndose de esta manera el radio de giro. Esta configuración es recomendable para robots que operen en ambientes amplios y abiertos, que no necesite de gran libertad de movimientos.

El centro instantáneo de curvatura debe estar en la línea que pasa y es perpendicular a las ruedas traseras fijas como se aprecia en el siguiente esquema:

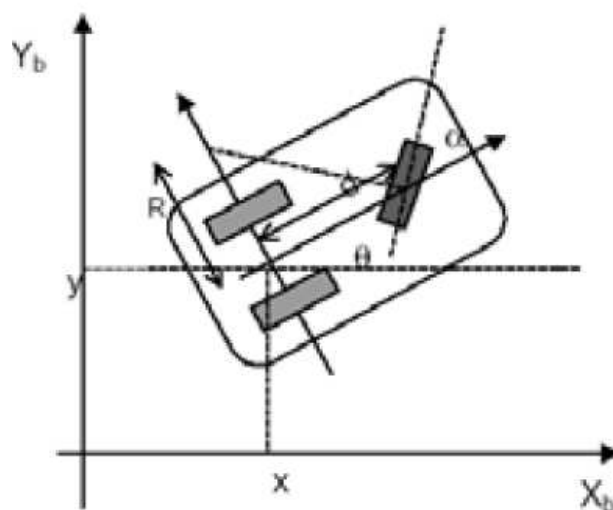


Ilustración 5.2: Ruedas directrices

- **Tracción síncrona:**

En un robot de tracción síncrona cada rueda es motriz y directriz. La configuración más típica se compone de tres ruedas orientables dispuestas en los vértices de un triángulo equilátero sobre una plataforma circular colocada sobre el triángulo. Las tres ruedas apuntan en la misma dirección y giran a la misma velocidad, esto se consigue mediante un conjunto complejo de correas que conectan las ruedas. Se usan dos motores independientes, uno hace rodar todas las ruedas y el otro las hace girar simultáneamente. El vehículo controla tanto la dirección en la que apuntan las ruedas como la velocidad a la que ruedan. Dado que todas las ruedas permanecen paralelas, el robot rota siempre alrededor de su centro geométrico. Los robots de tracción síncrona pueden controlar la orientación directamente.

El centro instantáneo de curvatura está siempre en el infinito, cambiando la orientación de las ruedas cambia el centro instantáneo de curvatura.

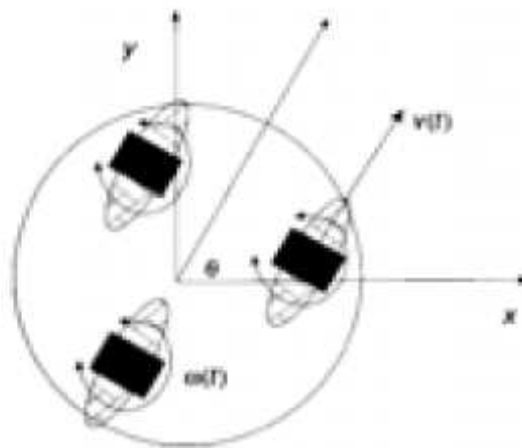


Ilustración 5.3: Tracción síncrona

- **Tracción Ackerman:**

Se usa en vehículos a motor. Se compone de cuatro ruedas, donde las dos del tren delantero contienen la dirección y la tracción en ocasiones, y las dos del tren trasero que pueden ser empleadas para propulsar el vehículo. La rueda frontal interna rota un poco más que la externa (reduce el deslizamiento). Se usa de forma generalizada en robots móviles autónomos en exteriores.

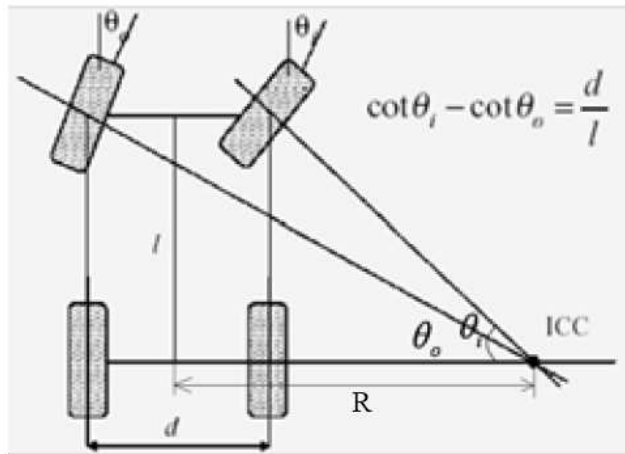


Ilustración 5.4: Tracción Ackerman

- **Desplazamiento Omnidireccional:**

El desplazamiento omnidireccional es de gran interés porque brinda una completa maniobrabilidad. Los robots omnidireccionales pueden moverse en cualquier dirección y en cualquier momento sin requerir una orientación específica para el desplazamiento del robot. Este tipo de desplazamiento requiere de ruedas que se puedan mover en más de una dirección, como son las ruedas suecas u omnidireccionales. [21]

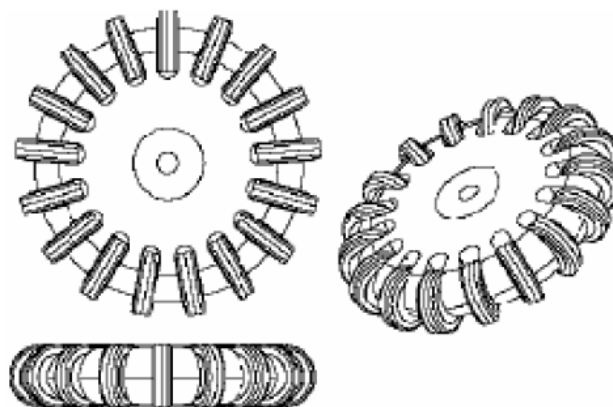


Ilustración 5.5: Rueda omnidireccional

El movimiento omnidireccional ha adquirido popularidad en los robots móviles porque permite que el robot se desplace en línea recta desde un punto origen hacia cualquier otro punto, sin tener que rotar antes de desplazarse. Adicionalmente, la traslación sobre la ruta deseada se puede combinar con una rotación, de modo que el robot llega a su destino en el ángulo correcto.

Cada una de las ruedas proporciona una fuerza en una dirección normal, noventa grados, al eje del motor y paralela al terreno. La suma de fuerzas provén la traslación y rotación del robot.



Las ruedas omnidireccionales no son una sola rueda en realidad, sino que constan de varias. Sobre la periferia de una gran rueda central se montan una serie de pequeñas ruedas o rodamientos. Mientras que la rueda central se comporta como una rueda tradicional, las periféricas rotan perpendicularmente, por lo que las ruedas holonómicas tienen dos grados de libertad. Existen variedad de ruedas omnidireccionales posibles en el mercado, atendiendo al material del rodillo, el material exterior de la rueda y el tamaño.

Este tipo de desplazamiento permite al robot moverse con total libertad en dos direcciones sin necesidad de cambiar la dirección de las ruedas. Además, el robot puede ir a velocidad máxima para realizar un giro, tomar una curva o incluso pivotar sobre sí mismo.

Sin embargo, este sistema requiere de más de dos ruedas para mover un robot, lo que requiere el cálculo adicional de las velocidades a aplicar a cada motor.

5.2 SISTEMA DE LOCOMOCIÓN DEL PROTOTIPO 2010

Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de los diferentes sistemas de tracción y las limitaciones impuestas por la Federación de RoboCup, en el año 2010 se consideró que el mejor sistema de tracción es el omnidireccional. [9]

Las ventajas que ofrece este tipo de desplazamiento son:

- la tracción de este sistema permite una mayor velocidad constante, independientemente del tipo de trayectoria que se pretenda realizar
- permite colocar al robot después de un giro en el ángulo deseado, como por ejemplo para interceptar una pelota, gracias a su habilidad de pivotar sin la necesidad de desplazarse en absoluto
- se evita el problema de tener que utilizar mecanismos como engranajes, permitiendo así liberar espacio para otros sistemas

El tipo de rueda escogido para el prototipo del 2010 fue el modelo 2051K de Kornilak (Ilustración 5.6), seleccionando los rodillos de poliuretano frente a las otras opciones del fabricante; como el polipropileno con una capa de goma sintética o de un plástico con alta resistencia a los impactos. Con este tipo de rodillos se buscaba una mayor tracción y agarre que los cubiertos por goma, además de haber sido diseñados para aumentar la amortiguación.

El modelo seleccionado (2051K) presenta una ranura para mejorar el acople del riel, motor, etc., de tal forma que se facilita la transmisión del movimiento.



Diámetro exterior	49,2 mm
Diámetro del buje	9,5 mm
Peso	28,35 g
Carga máxima admisible	11,3 kg

Ilustración 5.6: Rueda 2051K

En cuanto a la elección de los motores se optó por utilizar cuatro del modelo EC45 FLAT BRUSHLESS 30W, con electrónica integrada, capaz de proporcionar un par de 91 Nm y una velocidad de hasta 6.000rpm que satisface los requisitos exigidos de un par (después de engranes) de 86 Nm y una velocidad de 1.165 rpm.



Ilustración 5.7. Motor EC45 FLAT BRUSHLESS 30W con electrónica integrada

Se diseñó un casquillo como acoplamiento entre el eje del motor y la rueda; cuya forma y diseño consistía en un cilindro con un diámetro interior de 4mm y otro exterior de 9,5mm consiguiendo así que se pueda acoplar el motor al buje de la rueda 2051. Para su instalación se empleó un adhesivo a base de cianocrilato. En la siguiente figura se muestra la rueda con el cilindro acoplado.

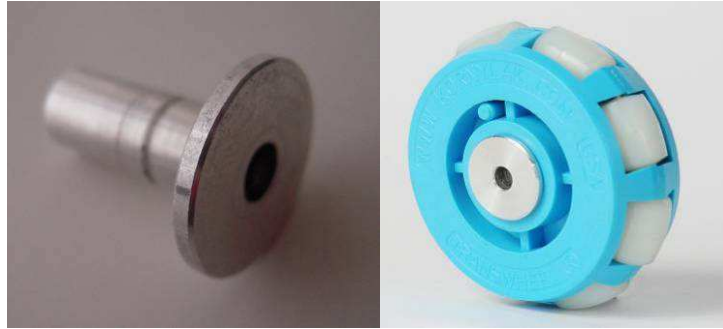


Ilustración 5.8. Acoplamiento rueda – motor prototipo 2010

La configuración existente se basa en cuatro ruedas omnidireccionales, considerando una distribución uniforme en la circunferencia de 180mm de diámetro que el robot describe; posicionando cada motor a $\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ con respecto del otro. De esta forma, se optó por una base circular en la cual se dispondría de los motores guardando una formación cuadrangular con cuatro ruedas omnidireccionales:



Ilustración 5.9. Base con los motores y ruedas omnidireccionales

5.3 SISTEMA DE LOCOMOCIÓN DEL PROTOTIPO 2011

El sistema de locomoción del prototipo del año 2010 supuso un gran avance en el desarrollo del robot, aunque como todo primer prototipo presentaba algunos problemas tales como [10]:

- Falta de control del movimiento de las ruedas omnidireccionales, el robot es incapaz de reproducir fielmente los movimientos programados.
- Falta de adherencia de las ruedas con la superficie de juego.
- Incorrecta transmisión de movimiento entre los motores y las ruedas.
- Falta de retroalimentación con el módulo de Inteligencia Artificial, lo cual genera pérdidas de control y monotorización del movimiento. Este aspecto es

fundamental a corregir para que el robot pueda rectificar la trayectoria en caso de producirse desviaciones respecto a la debida.

En el prototipo del año 2011 la primera mejora que se consideró fue el cambio de las ruedas. El modelo 2051K de Kornilak fue sustituido por el modelo 2.75'' del fabricante VEX (Ilustración 5.10). El criterio de utilizar una rueda omnidireccional se mantiene pero la gran diferencia del nuevo modelo radica en el material de fabricación de los rodillos: goma blanda sobre plástico ABS. Este tipo de material proporciona una mejor adherencia de las ruedas a la superficie de juego, aumentando así la tracción sin perder la capacidad de deslizamiento omnidireccional. Por otra parte estas ruedas presentan un diámetro mayor y por tanto un mayor número de rodillos, lo cual hace más suave el paso de uno a otro permitiendo eliminar el problema de traqueteo detectado en el prototipo del 2010.



Material de la rueda	Plástico ABS
Material de los rodillos	Goma blanda sobre plástico ABS
Diámetro de la rueda	69,9 mm
Ancho de la rueda	19,3 mm
Peso total	33,6 g

Ilustración 5.10. Rueda omnidireccional VEX 2.75''

En cuanto a los motores, dados los resultados positivos obtenidos el año anterior, se decidió mantener el mismo modelo. Tras un análisis de las características de este motor, se decidió cambiar la configuración de cuatro motores y utilizar únicamente tres. De este modo se redujeron los costes del robot, el peso y el consumo eléctrico y aumentó la duración de la batería y, en consecuencia, la autonomía del robot, y una mejora de la estabilidad dado que el triple apoyo asegura que todas las ruedas estén en contacto con el suelo en todo momento.

Sin embargo, la eliminación de un elemento motriz puede suponer la pérdida de redundancia en el control de los movimientos pero la experiencia con el robot demostró que el modelo de cuatro ruedas omnidireccionales era más difícil de gobernar.

Por otro lado, la nueva configuración de tres motores permitió lograr un mayor espacio en la base del robot por lo que el sistema de dribbler fue mejorado para aumentar las posibilidades de controlar la pelota.

La diferencia dimensional entre el diámetro del eje del motor y el tamaño del agujero central de la rueda hizo necesario el diseño de un nuevo casquillo a modo acoplamiento. Basándose en la solución del prototipo del 2010, se decidió mejorar y adaptar el acoplamiento existente. La rueda de VEX permite una mejor transmisión del movimiento al presentar un agujero de forma cuadrangular en lugar de cilíndrica. Se dotó al casquillo de una camisa en la que se introdujo el eje del motor, con una terminación en cuadrado que encajaba con la forma de la rueda. Para asegurar el agarre entre el casquillo y el eje del motor se mecanizó la camisa para utilizar tres prisioneros dispuestos en forma triangular. Por último, para fijar el casquillo a la rueda se usó una arandela, y un tornillo. Las siguientes fotografías muestran la solución adoptada:



Ilustración 5.11. Solución acoplamiento rueda – motor

A continuación se muestra una fotografía del sistema locomotor y disparador (parcial) montado sobre la base del robot:

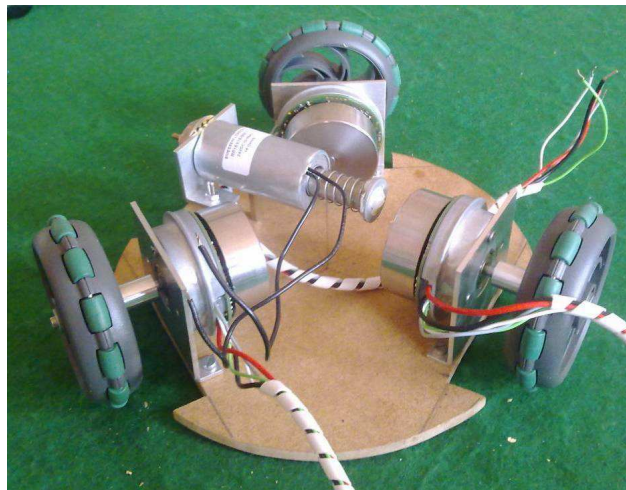


Ilustración 5.12. Montaje completo sobre la base del robot de 2011

5.4 SISTEMA DE LOCOMOCIÓN DEL PROTOTIPO 2012

Analizando los resultados obtenidos en el sistema de locomoción del prototipo 2011 se observan ciertas mejoras como son:

- Diseño y construcción de un juego de ruedas omnidireccionales específicas para la competición que permitan una óptima adaptación del microrobot a las necesidades de diseño.
- Optimización de la programación del código del sistema de control para una mayor sensibilidad de movimiento que permita garantizar los desplazamientos solicitados.
- Modificación de los casquillos de acoplamiento de las ruedas a los motores, reduciendo el espacio entre ambos componentes.

La fabricación de unas ruedas omnidireccionales a medida permitiría cumplir las condiciones necesarias para soportar el peso del robot, facilitar el acoplamiento entre ruedas y motores, y aumentar la fricción necesaria para que el robot se adhiriera al terreno de forma firme y segura evitando derrapes y deslizamientos durante el juego. Si embargo, debido a las directrices del proyecto de crear un robot lo más comercial posible esta opción queda desechada continuando pues con el modelo de ruedas del prototipo 2011.

La optimización del código del sistema de control para mejorar la sensibilidad de movimiento del robot continúa en desarrollo por parte del equipo encargado de la programación del mismo.

En el año 2012 se propone realizar la mejora referente a la modificación de los casquillos para reducir el espacio entre los motores y las ruedas.

En el prototipo de 2011 se decidió pasar de una configuración de 4 motores a tres, lo que permitió aumentar el espacio disponible en la base del robot para mejorar el

dribbler. Sin embargo, no se tuvo en cuenta las dimensiones del robot establecidas en la normativa de juego siendo éstas menores que las del prototipo 2011.

La siguiente ilustración muestra el prototipo 2011 con la configuración de tres motores y el sistema de disparo por solenoide.

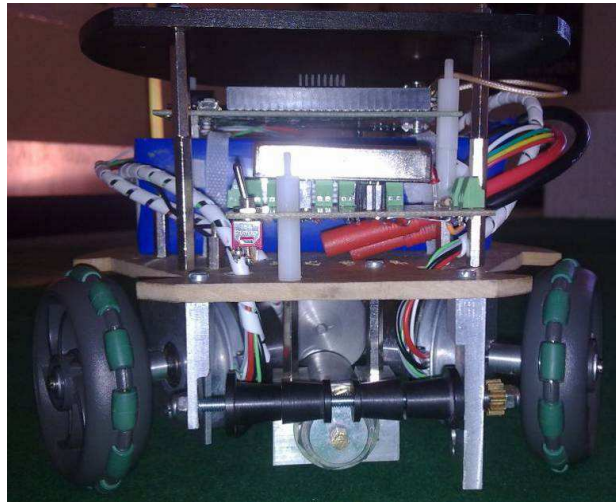


Ilustración 5.13. Prototipo 2011

Sin embargo, esta configuración presenta un gran inconveniente que imposibilita al robot participar en la Robocup. Las ruedas sobresalen mucho de la base, sobrepasando en gran medida los 180 mm de máximo diámetro establecidos en la normativa en cuanto a dimensiones del robot como se aprecia en la siguiente fotografía:

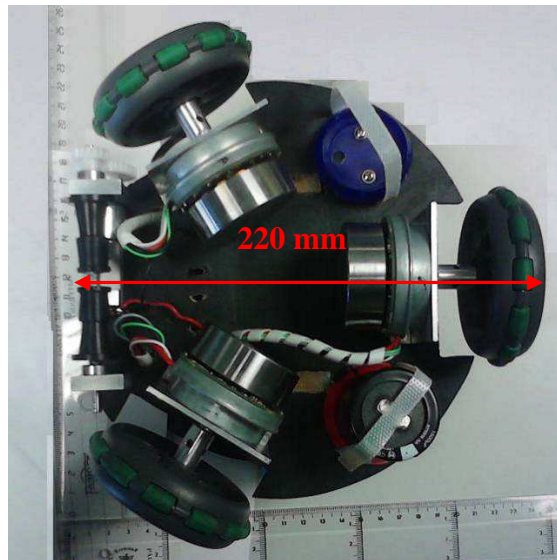


Ilustración 5.14. Dimensiones del prototipo 2011

La primera solución que se pensó fue la de montar los motores más próximos al centro, pero en seguida fue desechada ya que el espacio sobrante para introducir el sistema de disparo, tanto el del prototipo 2011 como el diseñado en 2012, era insuficiente.

La segunda opción fue intentar reducir los casquillos entre rueda y motor diseñados en 2011, pero dada la complejidad de la terminación del casquillo en forma cuadrada la reducción de espacio de la camisa parecía bastante compleja considerando las máquinas herramientas con las que contábamos.

Se optó entonces por simplificar el casquillo y diseñar una única pieza que sirviera de interfaz entre la rueda y el motor y de menor longitud. Para ello se modificó el agujero central con forma cuadrangular de la rueda convirtiéndolo en un agujero circular. De este modo en el agujero de la rueda se acoplaría directamente el casquillo sin necesidad de usar terminación cuadrada como interfaz con la rueda. Por otro lado, el casquillo anterior era de gran longitud cuando realmente no era necesario que fuera tan largo. La misión principal del casquillo es albergar los tres prisioneros que garantizan el agarre entre el eje del motor y el casquillo. De este modo, se redujo la longitud del casquillo a la mínima necesaria pero cuidando en todo momento de garantizar la transmisión del movimiento.

La siguiente imagen muestra las modificaciones realizadas en la rueda y el casquillo para el prototipo 2012 (rueda izquierda) con respecto al 2011 (rueda derecha):



Ilustración 5.15. Modificaciones en la rueda del prototipo 2011

El nuevo casquillo está formado por una parte estrecha que permite el alojamiento de la rueda, una parte de mayor ancho donde se aloja el prisionero y un agujero central o camisa para introducir el eje del motor.

Para fijar la parte estrecha a la rueda se ha utilizado cianocrilato, este adhesivo permite una unión muy fuerte entre piezas de plástico y metal.

El montaje final de la rueda sobre el motor mediante el uso del casquillo se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 5.16. Rueda del prototipo 2012

A continuación, en las fotografías, se puede apreciar las diferencias del conjunto rueda, casquillo y motor entre ambos prototipos.

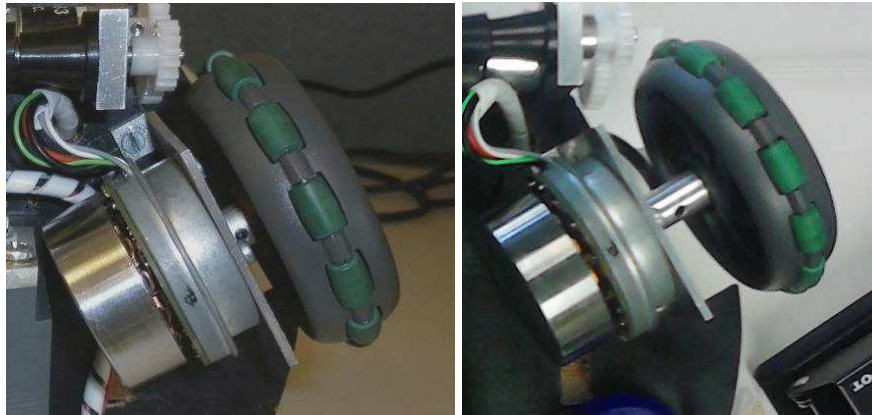


Ilustración 5.17. Diferencias entre los prototipos 2011 y 2012

El objetivo final de reducir las dimensiones de los casquillos para disminuir el espacio entre los motores y ruedas fue conseguido, cumpliendo con los 180 mm de diámetro que establece la normativa del juego.

La siguiente imagen muestra el prototipo 2012 con la configuración de tres motores y el sistema de disparo desarrollado:

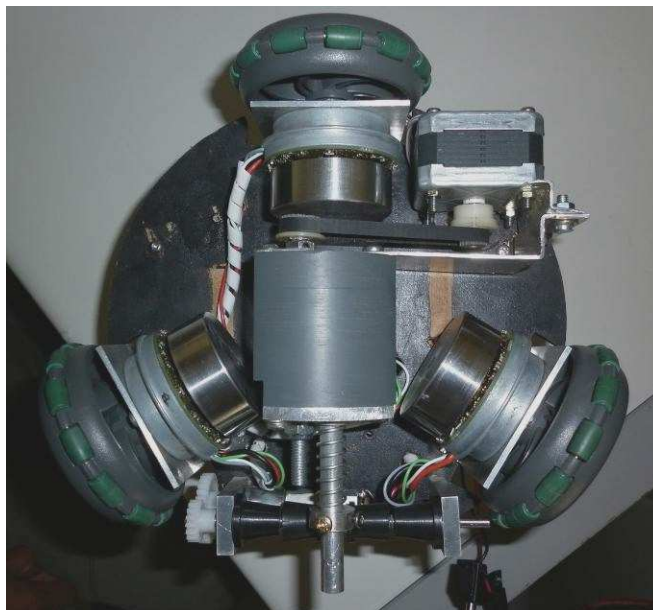


Ilustración 5.18. Montaje completo sobre la base del robot de 2012



CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y MEJORAS

6.1 CONCLUSIONES

Los objetivos de este proyecto eran la construcción de un sistema de disparo y la optimización del sistema de locomoción para el robot Robocup Soccer Small League.

Los objetivos establecidos para el diseño del sistema disparador fueron:

- Generar gran energía para golpear la pelota
- No sobrepasar la velocidad de disparo establecida en las reglas: 10 m/s
- Capacidad para realizar disparos consecutivos
- Tamaño pequeño debido a las dimensiones del robot

El disparador construido cumple los requisitos anteriores:

- El nuevo sistema permite almacenar gran cantidad energía mediante la compresión del muelle. La cantidad de energía que se puede almacenar es regulable en función de la posición donde se sitúe el limitador de fuerza. La cantidad de energía generada mediante este sistema es mayor que la del prototipo anterior puesto que la acción del motor para comprimir el muelle resulta más eficaz que la tensión acumulada en los condensadores mediante el elevador de tensión.
- Golpear la pelota a una velocidad regulable en función de la compresión del muelle. Mediante el giro del motor podemos regular la compresión del muelle y golpear la pelota a diferentes velocidades.
- La capacidad para realizar disparos consecutivos se ha conseguido mediante el uso de un motor de corriente continua. A mayor velocidad de giro del motor menor tiempo de compresión del muelle y por tanto menor tiempo entre disparos. Por otro lado, hay que tener en cuenta que para disparos de baja fuerza, pases entre jugadores del mismo equipo, el tiempo de carga se reduce considerablemente ya que se requiere menor compresión del muelle. El tiempo de carga del disparador a la máxima velocidad permitida por el motor para realizar un disparo a máxima potencia, es decir, a compresión



máxima del muelle, es de unos 10 segundos. El sistema disparador de solenoide desarrollado en el prototipo anterior tardaba aproximadamente 30 segundos en cargar y no siempre se conseguía que cargara a máxima tensión por problemas de la electrónica.

- En cuanto al tamaño del sistema disparador se puede decir que se cumplen los requisitos dado que el sistema cumple la normativa de la competición. Aunque podría mejorarse reduciendo el tamaño de algunos componentes.

Los objetivos establecidos para la optimización del sistema locomotor fueron:

- Modificación de los casquillos para reducir el espacio entre los motores y las ruedas.

El sistema locomotor actual cumple el requisito anterior. El espacio entre rueda y motor se ha reducido considerablemente mediante la modificación y simplificación del casquillo permitiendo cumplir con las dimensiones establecidas para el robot en la normativa de la Robocup Soccer Small League.

6.2 MEJORAS

- Optimización del tamaño de los componentes mecánicos del disparador para ocupar menos espacio y ser más ligero.
- Utilizar un motor comercial para el sistema de disparo de mayor par que permita recargar en menor tiempo.
- Un motor de disparo de menor tamaño que evite tener que desplazar el motor respecto al eje del tornillo y unirlo a éste mediante un sistema de correa.
- Emplear un servomotor más pequeño que permita reducir el espacio ocupado en el primer nivel del robot pero que presente similares prestaciones.
- Mejorar el sistema de disparo para poder realizar no sólo disparos lineales sino también tiros parabólicos para aumentar la capacidad de juego.



CAPÍTULO 7

7. PRESUPUESTO

7.1 COSTE DE MATERIAL

7.1.1 Sistema de control

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Placa de control Rabbit RCM 5600W	119,00 €	1	119,00 €
TOTAL			119,00 €

7.1.2 Sistema locomotor

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Rueda omnidireccional VEX 2.75" P/N 276-2165 (Pack 2 unidades)	23,99 €	2	47,98 €
Casquillo acoplador rueda-motor	4,00 €	3	12,00 €
Motor EC45 Flat Brushless 30W con electrónica integrada	186,45 €	3	559,35 €
TOTAL			619,33 €



7.1.3 Sistema de disparo

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Motor DC	20,00 €	1	20,00 €
Conjunto Sistema Correa	9,00 €	1	9,00 €
Muelle	3,00 €	1	3,00 €
Componentes electrónicos	12	1	12,00€
Otros	5,00 €	1	5,00 €
TOTAL			49,00 €

7.1.4 Sistema dribbler

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Engranaje cilíndrico 30 dientes	3,03 €	1	3,03 €
Engranaje cilíndrico 16 dientes	2,05 €	1	2,05 €
Cilindros de goma	0,30 €	4	1,20 €
Motor DC Como Drills 941D41 1.5-12V, caja reductora 4:1, 16mm diámetro	19,30 €	1	19,30 €
Barra roscada de 4mm de diámetro	1,42 €	1	1,42 €
Rodamiento de bolas liso, diámetro 4-11mm	3,40 €	2	6,80 €
IRF530	1,83 €	1	1,83 €
TOTAL			35,63 €

7.1.5 Alimentación

7.1.5.1 Batería

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Batería 14,8V 3300mAH 30C	59,99 €	1	59,99 €
Cargador/Equilibrador LiPO "Dual Power"	79,99 €	1	79,99 €
TOTAL			139,98 €



7.1.5.2 Placa de alimentación

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Convertidor DC-DC TRACO TEN101211,5V 10W	33,35 €	1	33,35 €
Interruptor	3,50 €	1	3,50 €
Conectores de 2 tomas	0,30 €	12	3,60 €
Otros (leds y resistencias)	3,00 €	1	3,00 €
TOTAL			43,45 €

7.1.6 Estructuras

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Plataforma inferior DM 5mm de espesor, 18 cm de diámetro, pintado	3,00 €	1	3,00 €
Plataforma superior DM 5mm de espesor, 17 cm de diámetro, pintado	3,00 €	1	3,00 €
Soporte para motor, aluminio 1.5mm	7,00 €	4	28,00 €
Limitador de fuerza	5,00 €	1	5,00 €
Pistón	7,00 €	1	7,00 €
Carrete	9,00 €	1	9,00 €
Sistema gatillo	7,00 €	1	7,00 €
Placa bastidor, aluminio	7,00 €	1	7,00 €
Bastidor del disparador 1.5 mm	5,00 €	1	5,00 €
Soporte eje dribbler de aluminio 4mm	7,35 €	2	14,70 €
Separadores roscados de acero	1,00 €	15	15,00 €
Tornillería	6,00 €	1	6,00 €
TOTAL			109,70 €

7.1.7 Cableado y conexionado

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Importe Total
Cables, clemas y conectores	Varios	Varios	20,00 €
Protector helicoidal para cables	0.57 €/m	10 m	5,70€
TOTAL			25,70 €



7.2 COSTE DE PERSONAL

Los costes de personal se han calculado en función de los sueldos base para Ingenieros Superiores Industriales y la cuantía de las becas para ingenieros. La duración se ha estimado en 9 meses, tiempo que engloba el diseño, la construcción y la redacción del presente proyecto. Los cargos sobre los salario brutos son de un 6% en concepto de Seguridad Social y un 17% en concepto de I.R.P.F.

Concepto	Retribución mensual	Meses	Total
Ingeniero Superior Industrial	2.300,00 €	9	20.700,00 €
Ayudante a tiempo parcial	625,00 €	9	5.625,00 €
TOTAL antes de impuestos			26.325,00 €
TOTAL después de impuestos			32.379,75 €

7.3 PRESUPUESTO FINAL

El importe total asciende a:

Concepto	Importe
Coste de material	1.141,79 €
Coste de personal	32.379,75 €
TOTAL	33.521,54 €

El presupuesto total de ejecución del proyecto asciende a la cantidad de **treinta y tres mil quinientos veintiuno con cincuenta y cuatro céntimos de euro**.

NOTA: en el presupuesto mostrado en este capítulo está compuesto por el valor de todos los sistemas que componen el prototipo 2012, independientemente de si este proyecto los desarrolla detalladamente. Con esto se quiere dar una visión global del coste total de construcción del robot.



CAPÍTULO 8

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1 RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- [1] Enrique Suñer Fuentes, Construcción de un microrobot para el Eurobot 2005, Universidad Carlos III de Madrid, 2006.
- [2] Miguel Varo del Río, Construcción de microrobot Eurobot 2005, Universidad Carlos III de Madrid, 2006
- [3] Javier Hernández Asensio, Simulación e implementación del sistema de control de un microrobot: Eurobot 2005, Universidad Carlos III de Madrid, 2006.
- [4] Francisco José Rodríguez Urbano, Curso de verano: Diseño y construcción de un micro-robot, Universidad Carlos III de Madrid.
- [5] Guillermo Mancheno, Breve estudio de la robótica, Universidad Internacional del Ecuador, 23 de Julio de 2003.
- [6] Barrientos Cruz, Antonio Fundamentos de robótica Madrid [etc.]: McGraw-Hill Interamericana, [1997]
- [7] Apuntes de Automática, capítulo Neumática
Universidad Carlos III de Madrid.
- [8] Laura París Bernabé, Diseño y construcción de un microrobot Eurobot 2007, Universidad Carlos III de Madrid, 2007.



- [9] David López Montes, Desarrollo del sistema de control y golpeo de pelota para Robocup Small Soccer League (SSL)
Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- [10] José Luis Martín Gómez, Diseño del sistema de locomoción y dribbler de un microrobot.
Universidad Carlos III de Madrid, 2012

8.2 RECURSOS ELECTRÓNICOS

- [11] <http://es.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [12] <http://www.monografias.com/trabajos6/larobo/larobo.shtml>
- [13] <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/>
- [14] <http://www.roboticspot.com/robotica/robotica.shtml>
- [15] http://complubot.educa.madrid.org/actividades/seminario_uah_2006/seminario_uah_movimiento.pdf
- [16] http://www.geocities.com/acicuecalo/descrip_nr3/orugas/oruga.htm
- [17] <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Resorte>
- [18] <http://es.wikipedia.org/wiki/Solenoides>
- [19] <http://es.wikipedia.org/wiki/Neumática>
- [20] <http://small-size.informatik.uni-bremen.de/rules:main>
- [21] <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0b57/0900766b80b5747d.pdf>
- [22] <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- [23] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>



CAPÍTULO 9

9. ANEXOS

A continuación se adjunta:

ANEXO I: Planos detallado de las piezas principales del disparador.

- Bastidor
- Carrete
- Pistón
- Tornillo
- Sistema de gatillo
- Chapa del bastidor
- Limitador de fuerza

ANEXO II: Hoja de características del controlador L297

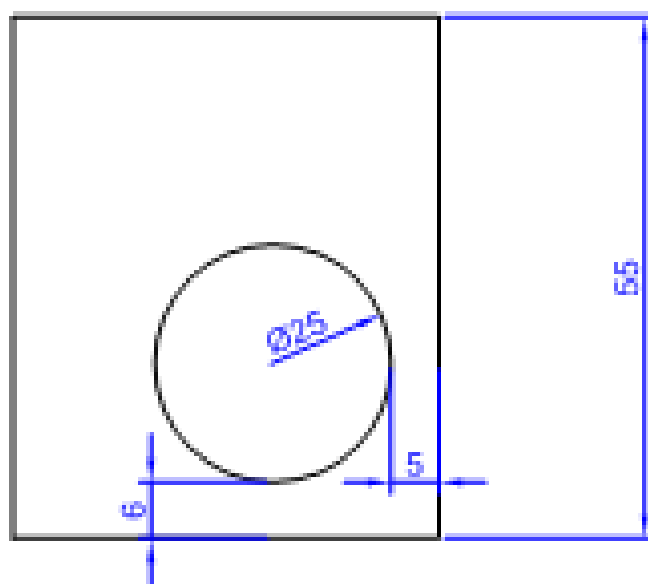
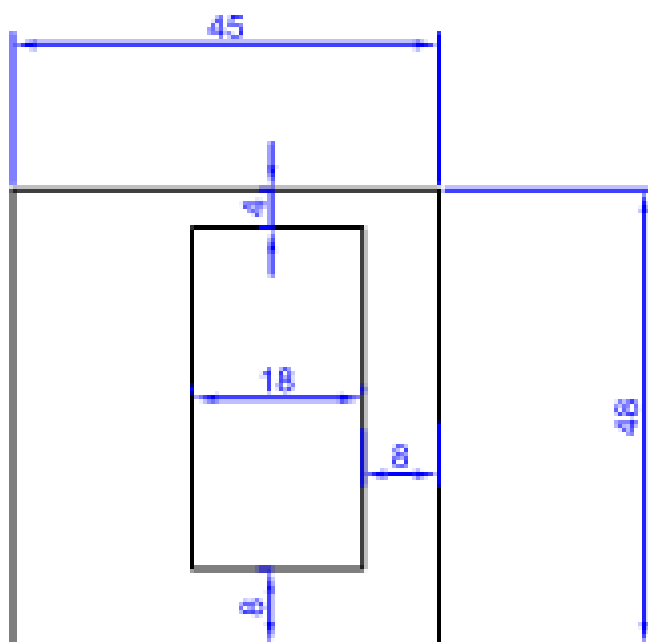


ANEXO I:

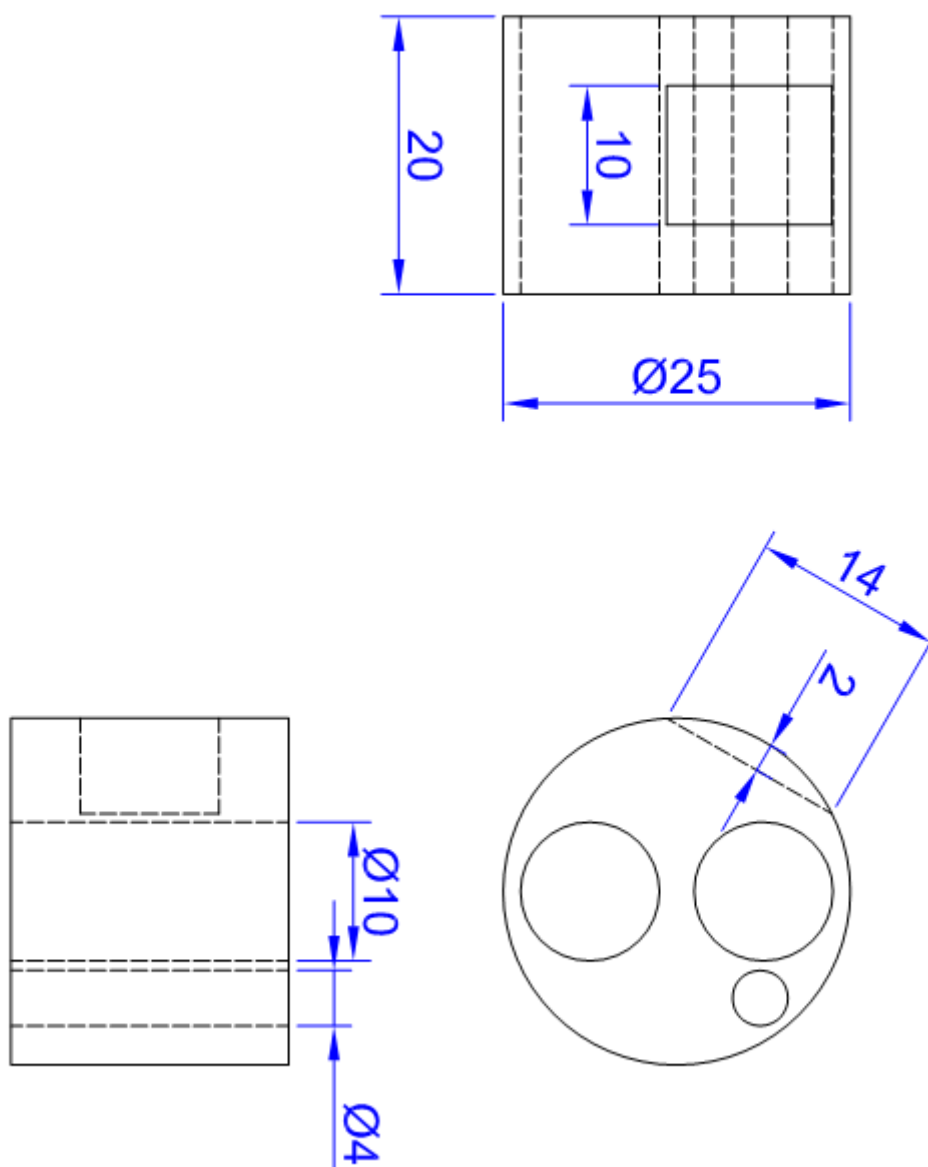
Planos detallados de las piezas principales del disparador.

- Bastidor
- Carrete
- Pistón
- Tornillo
- Sistema de gatillo
- Chapa del bastidor
- Limitador de fuerza

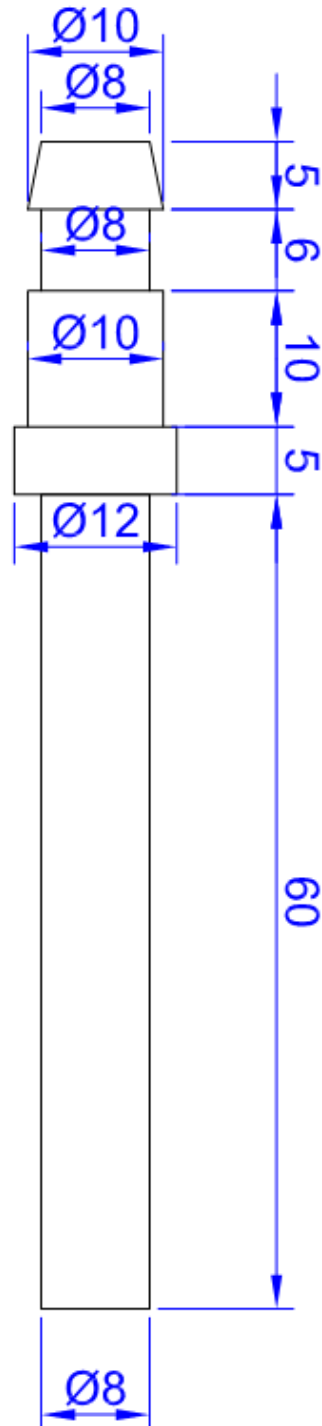
BASTIDOR



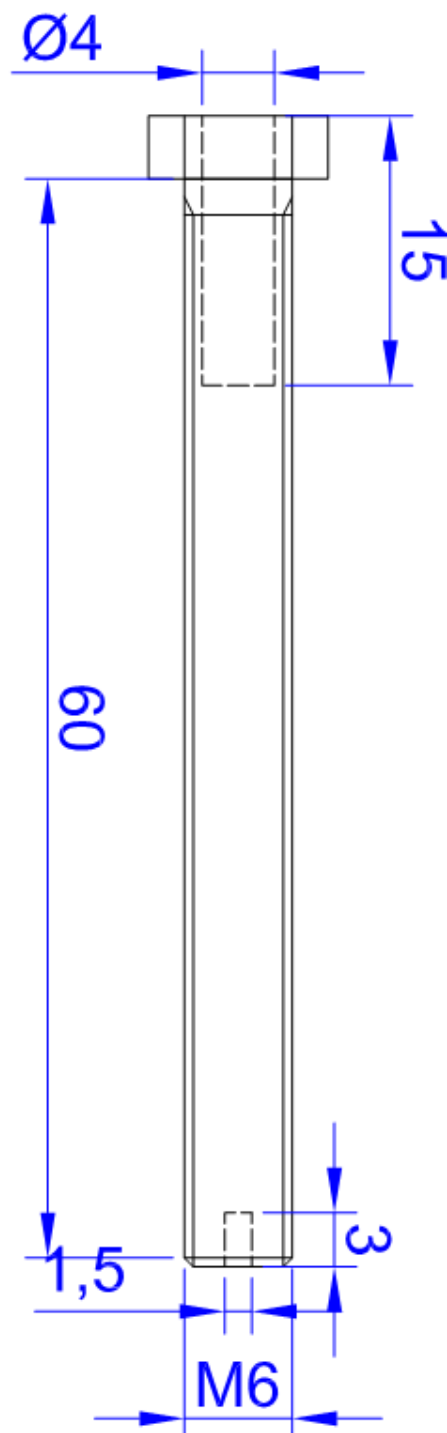
CARRETE



PISTÓN

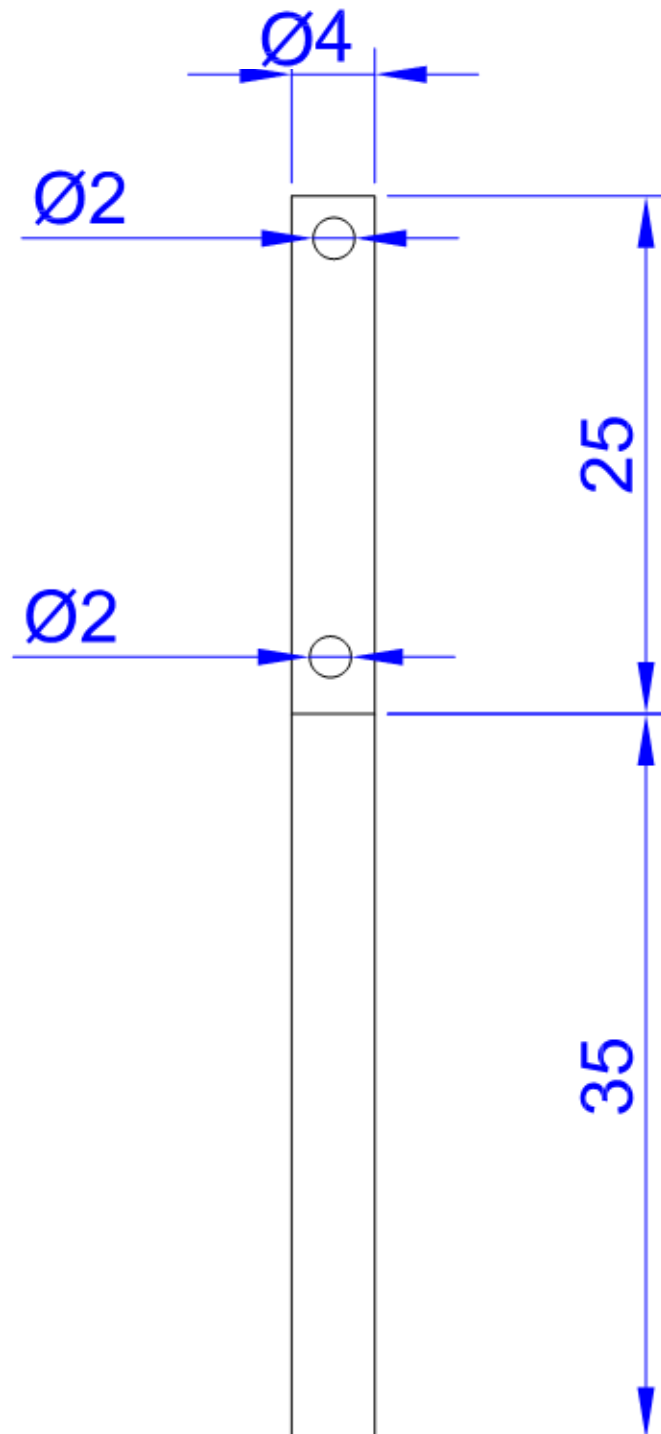


TORNILLO



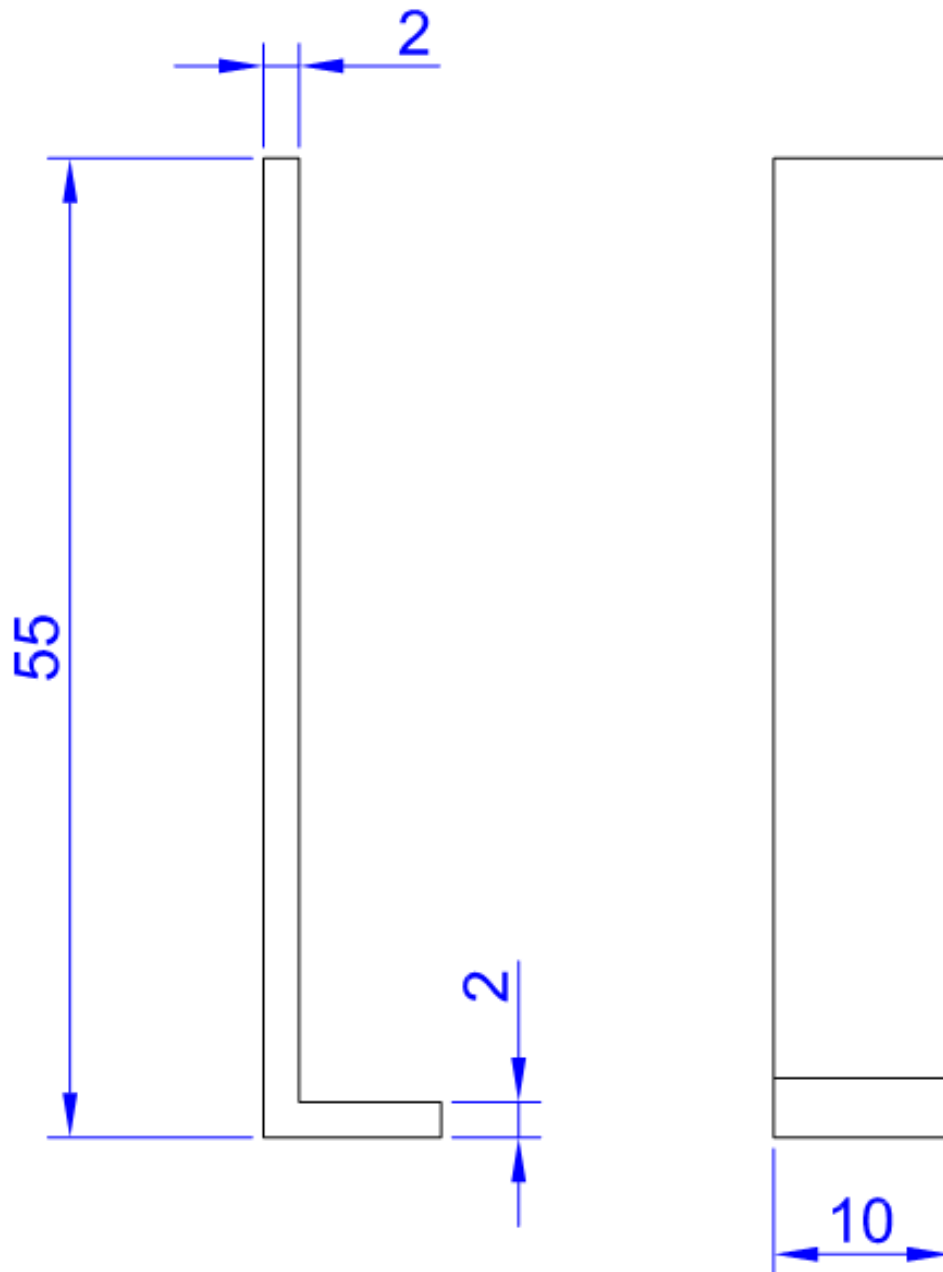
SISTEMA DE GATILLO

Pieza 1

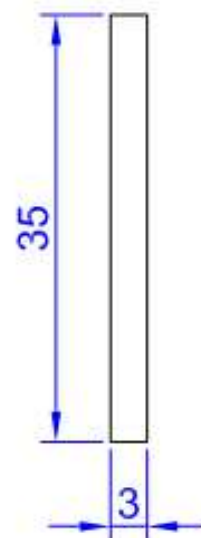
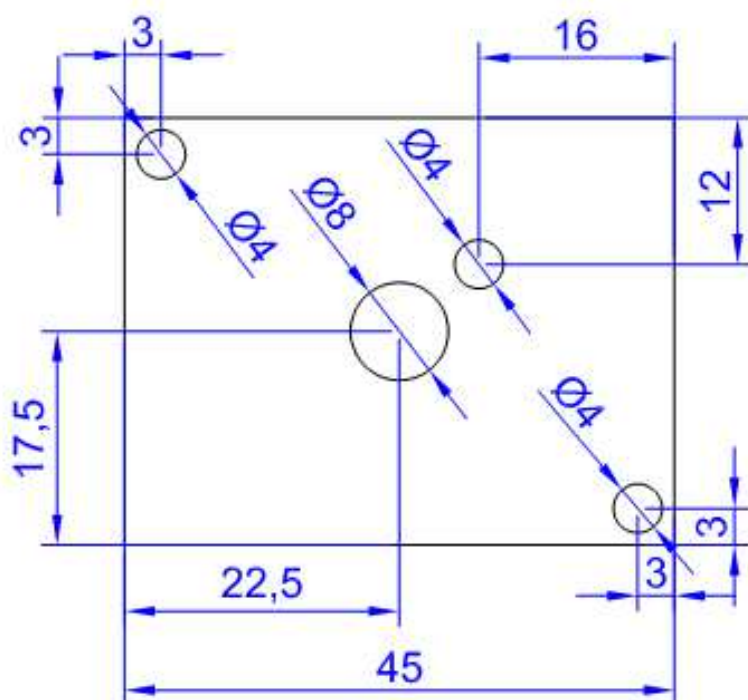


SISTEMA DE GATILLO

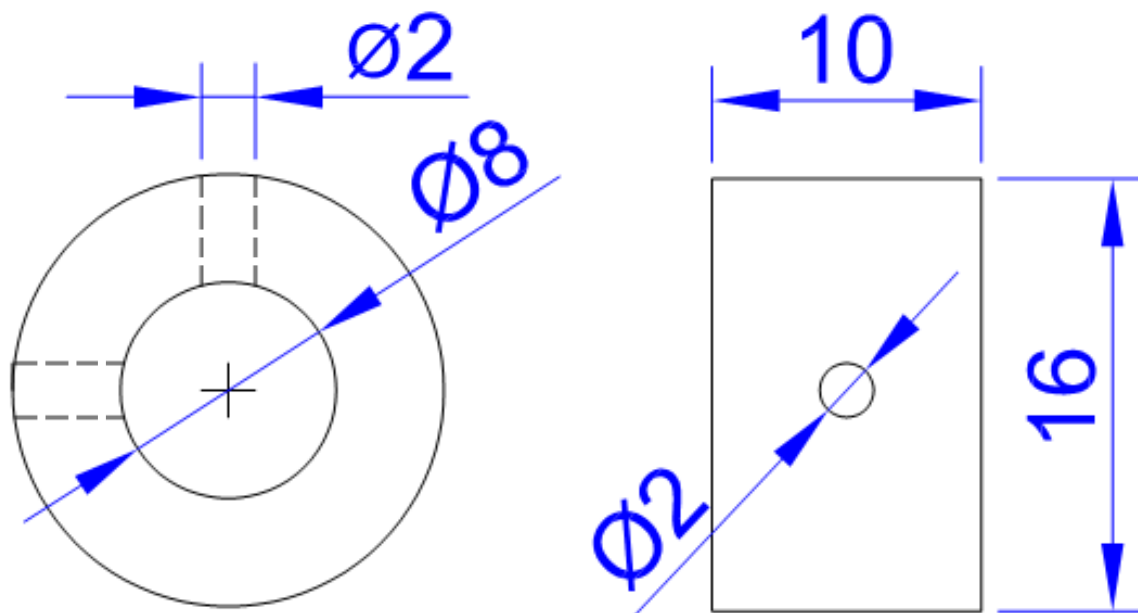
Pieza 2



CHAPA DEL BASTIDOR



LIMITADOR DE FUERZA





ANEXO II:

Hoja de características del controlador L297



L297

STEPPER MOTOR CONTROLLERS

- NORMAL/WAVE DRIVE
- HALF/FULL STEP MODES
- CLOCKWISE/ANTICLOCKWISE DIRECTION
- SWITCHMODE LOAD CURRENT REGULATION
- PROGRAMMABLE LOAD CURRENT
- FEW EXTERNAL COMPONENTS
- RESET INPUT & HOME OUTPUT
- ENABLE INPUT



DESCRIPTION

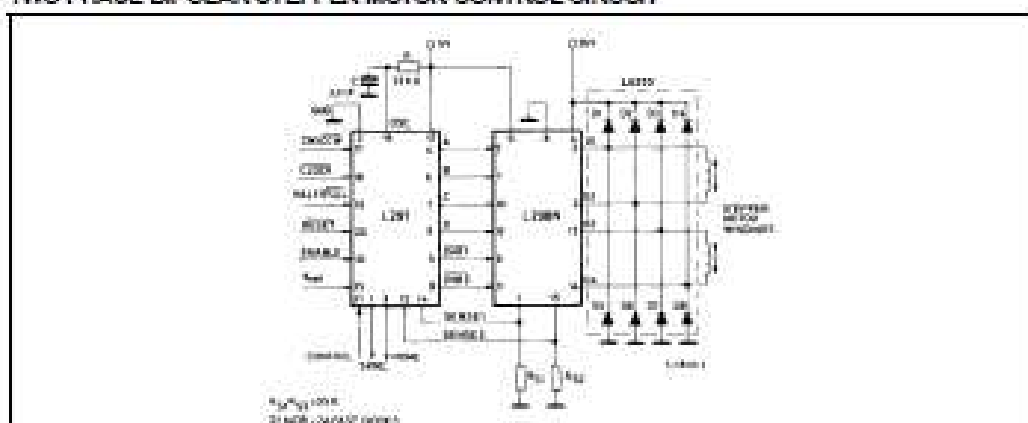
The L297 Stepper Motor Controller IC generates four phase drive signals for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer-controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive modes and on-chip PWM chopper circuits permit switch-mode control of the current in the windings. A feature of

this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced. Mounted in DIP20 and SO20 packages, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlingtonts.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply voltage	10	V
V_i	Input signals	7	V
P_{tot}	Total power dissipation ($T_{amb} = 70^\circ\text{C}$)	1	W
T_{stg}, T_j	Storage and junction temperature	-40 to +150	$^\circ\text{C}$

TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

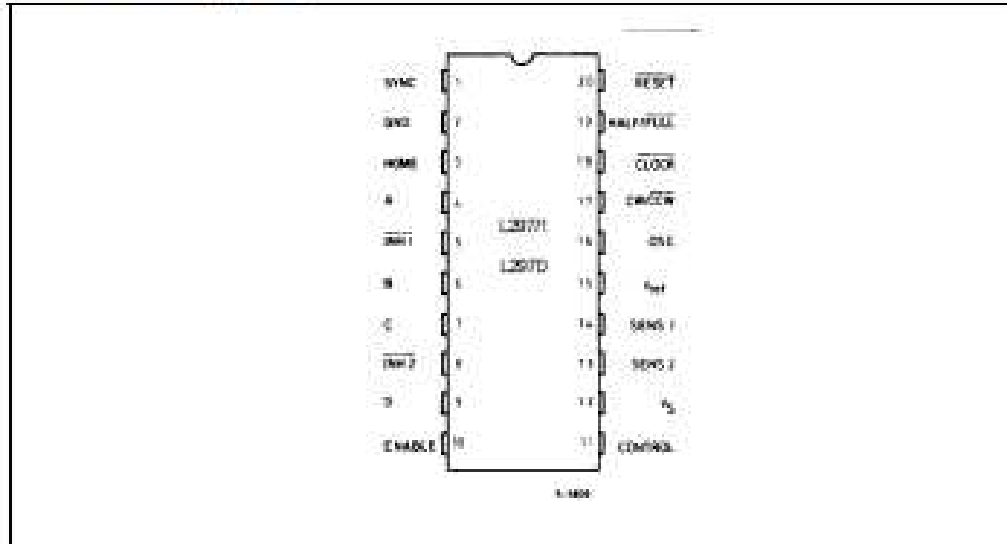


December 2001

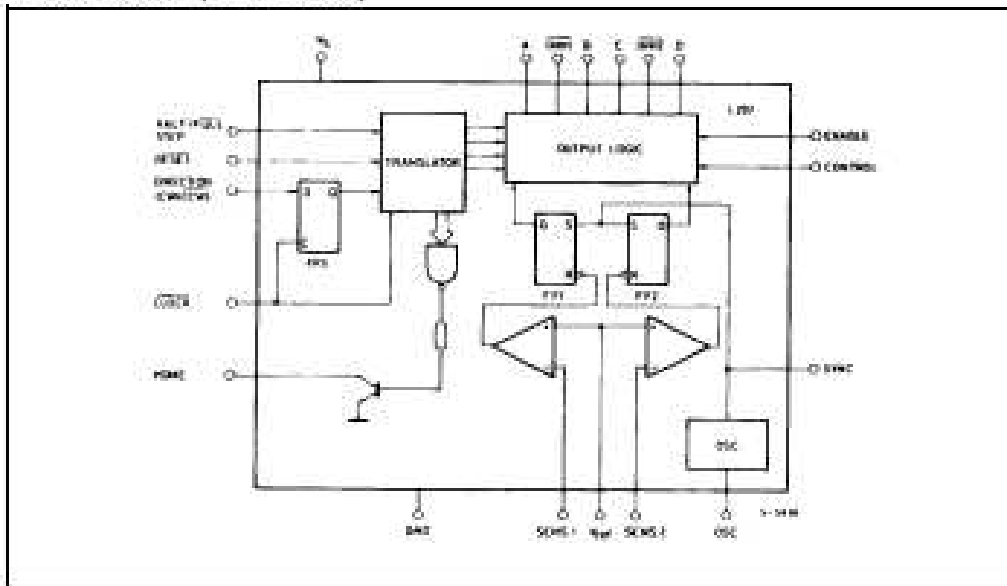
1/11

L297

PIN CONNECTION (Top view)



BLOCK DIAGRAM (L297/1 - L297D)



L297

PIN FUNCTIONS - L297/I - L297D

Nº	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	INH1	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	INH2	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V _s	SV supply input.
13	SENS _D	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	SENS _B	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V _{ref}	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V _{DD} , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi-L297 configurations. $f = 1/0.69 RC$
17	CW/CCW	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	CLOCK	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.



L297

PIN FUNCTIONS - L297/1 - L297D (continued)

N°	NAME	FUNCTION
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP20	SO20	Unit	
$R_{\theta ja(amb)}$	Thermal resistance junction-ambient	max	80	100	°C/W

CIRCUIT OPERATION

The L297 is intended for use with a dual bridge driver, quad darlington array or discrete power devices in step motor driving applications. It receives step clock, direction and mode signals from the systems controller (usually a microcomputer chip) and generates control signals for the power stage.

The principal functions are a translator, which generates the motor phase sequences, and a dual PWM chopper circuit which regulates the current in the motor windings. The translator generates three different sequences, selected by the HALF/FULL input. These are normal (two phases energised), wave drive (one phase energised) and half-step (alternately one phase energised/two phases energised). Two inhibit signals are also generated by the L297 in half step and wave drive modes. These signals, which connect directly to the L298's enable inputs, are intended to speed current decay when a winding is de-energised. When the L297 is used to drive a unipolar motor the chopper acts on these lines.

An input called CONTROL determines whether the chopper will act on the phase lines ABCD or the inhibit lines INH1 and INH2. When the phase lines

are chopped the non-active phase line of each pair (AB or CD) is activated (rather than interrupting the line then active). In L297 + L298 configurations this technique reduces dissipation in the load current sense resistors.

A common on-chip oscillator drives the dual chopper. It supplies pulses at the chopper rate which set the two flip-flops FF1 and FF2. When the current in a winding reaches the programmed peak value the voltage across the sense resistor (connected to one of the sense inputs SENS₁ or SENS₂) equals V_{ref} and the corresponding comparator resets its flip flop, interrupting the drive current until the next oscillator pulse arrives. The peak current for both windings is programmed by a voltage divider on the V_{ref} input.

Ground noise problems in multiple configurations can be avoided by synchronising the chopper oscillators. This is done by connecting all the SYNC pins together, mounting the oscillator RC network on one device only and grounding the OSC pin on all other devices.

L297

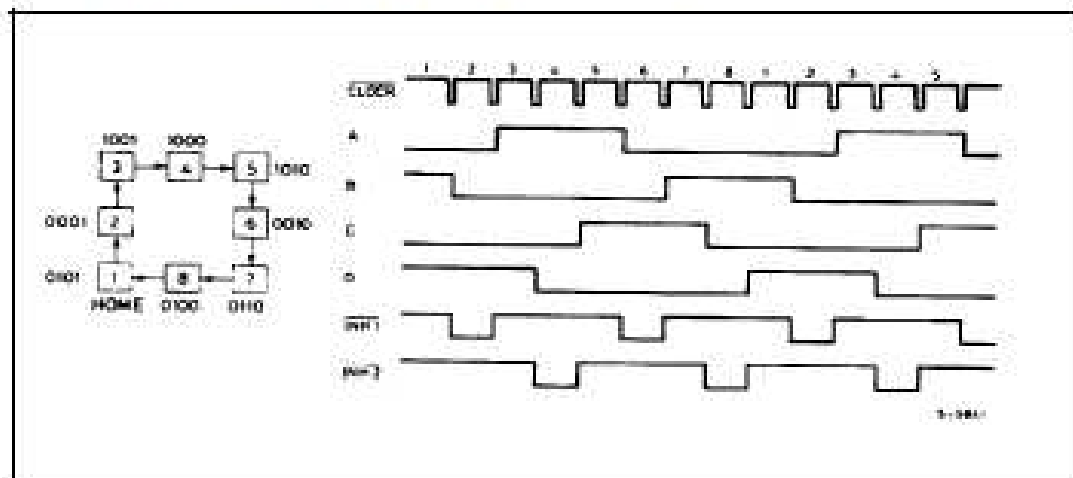
MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES

The L297's translator generates phase sequences for normal drive, wave drive and half step modes. The state sequences and output waveforms for these three modes are shown below. In all cases the translator advances on the low to high transition of **CLOCK**.

Clockwise rotation is indicated; for anticlockwise rotation the sequences are simply reversed. **RESET** restores the translator to state 1, where ABCD = 0101.

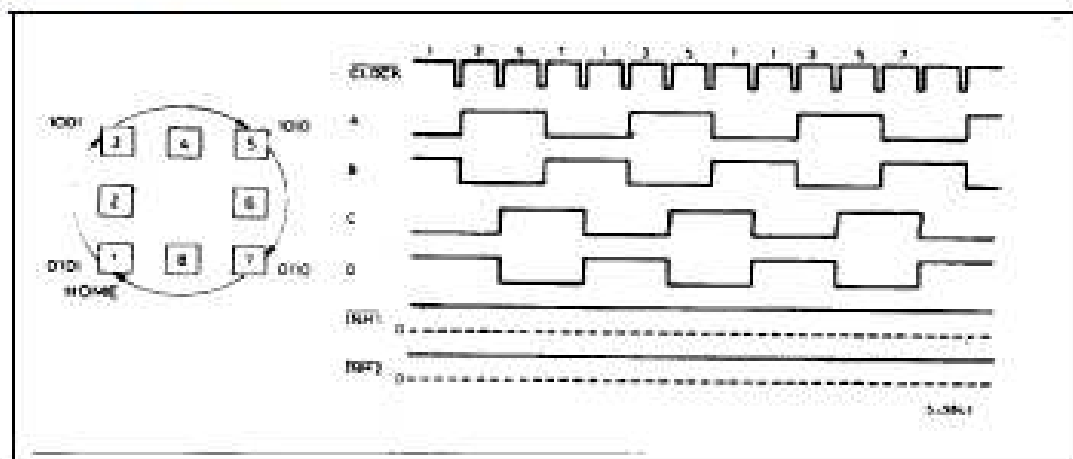
HALF STEP MODE

Half step mode is selected by a high level on the **HALF/FULL** input.



NORMAL DRIVE MODE

Normal drive mode (also called "two-phase-on" drive) is selected by a low level on the **HALF/FULL** input when the translator is at an odd numbered state (1, 3, 5 or 7). In this mode the **INH1** and **INH2** outputs remain high throughout.

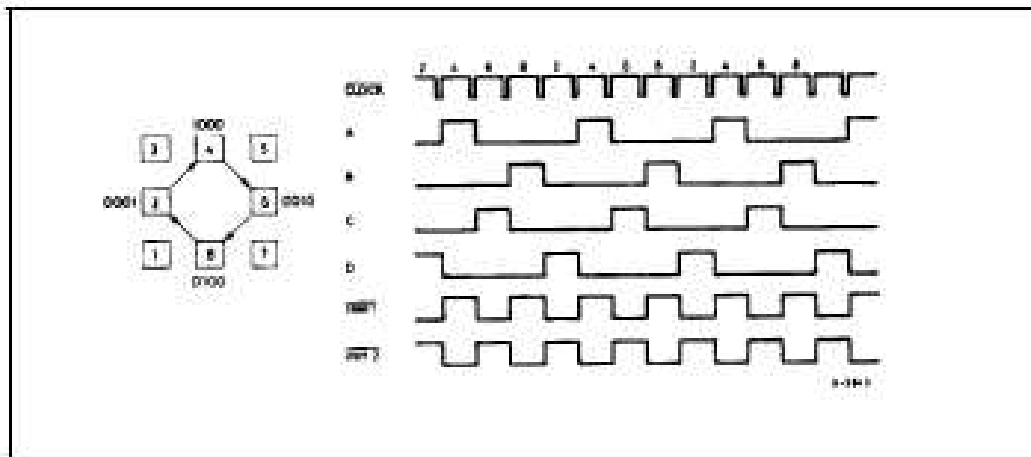


L297

MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES (continued)

WAVE DRIVE MODE

Wave drive mode (also called "one-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an even numbered state (2, 4, 6 or 8).



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the block diagram $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, $V_s = 5\text{V}$ unless otherwise specified)

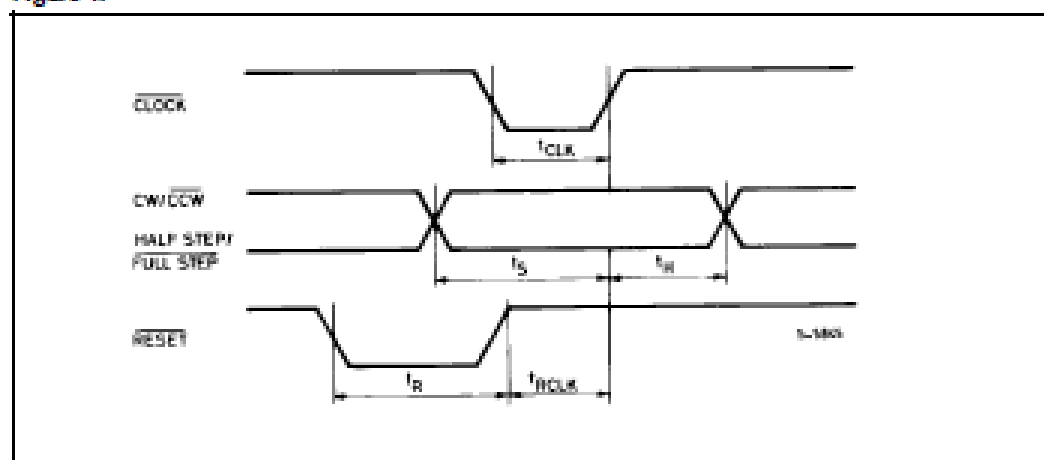
Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
V_s	Supply voltage (pin 12)		4.75		7	V
I_s	Quiescent supply current (pin 12)	Outputs floating		50	80	mA
V_i	Input voltage (pins 11, 17, 18, 19, 20)	Low			0.6	V
		High	2		V_s	V
I_i	Input current (pins 11, 17, 18, 19, 20)	$V_i = \text{L}$		100		μA
		$V_i = \text{H}$			10	μA
V_{en}	Enable input voltage (pin 10)	Low			1.3	V
		High	2		V_s	V
I_{en}	Enable input current (pin 10)	$V_{en} = \text{L}$			100	μA
		$V_{en} = \text{H}$			10	μA
V_o	Phase output voltage (pins 4, 5, 7, 8)	$I_o = 10\text{mA}$, $V_{in} = V_{OL}$			0.4	V
		$I_o = 5\text{mA}$, $V_{in} = V_{OL}$	3.9			V
V_{in}	Inhibit output voltage (pins 5, 8)	$I_o = 10\text{mA}$, $V_{en} = \text{L}$			0.4	V
		$I_o = 5\text{mA}$, $V_{en} = \text{L}$	3.9			V
V_{sync}	Sync Output Voltage	$I_o = 5\text{mA}$, $V_{en} = \text{L}$	3.3			V
		$I_o = 5\text{mA}$, $V_{en} = \text{H}$			0.8	

L297

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
I_{leak}	Leakage current (pin 3)	$V_{\text{CC}} = 7 \text{ V}$			1	μA
V_{sat}	Saturation voltage (pin 3)	$I = 5 \text{ mA}$			0.4	V
V_{off}	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)	$V_{\text{ref}} = 1 \text{ V}$			5	mV
I_b	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)		-100		10	μA
V_{ref}	Input reference voltage (pin 15)		0		3	V
t_{CLK}	Clock time		0.5			μs
t_s	Set up time		1			μs
t_h	Hold time		4			μs
t_r	Reset time		1			μs
t_{RCLK}	Reset to clock delay		1			μs

Figure 1.



This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2A. The diodes are fast 2A types.

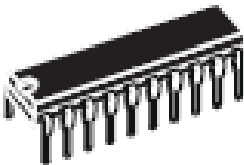
$R_{S1}, R_{S2} = 0.5 \Omega$
 2A FAST MODE



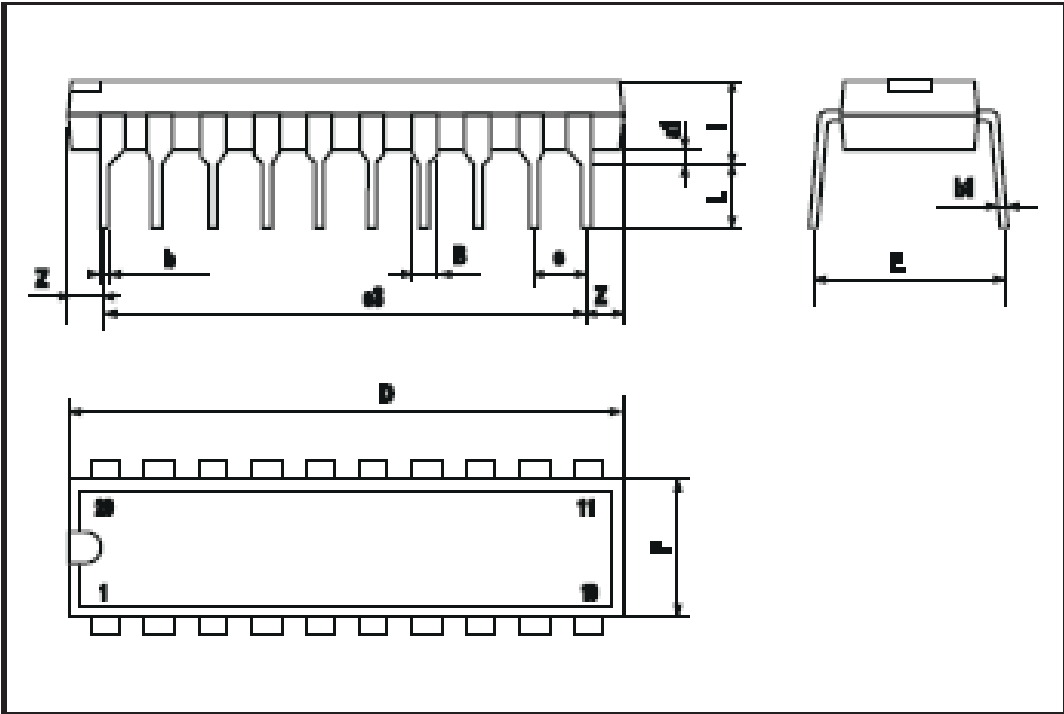
L297

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.254			0.010		
B	1.38		1.65	0.055		0.065
b		0.45			0.018	
b1		0.25			0.010	
D			25.4			1.000
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		22.86			0.900	
F			7.1			0.280
I			3.93			0.155
L		3.3			0.130	
Z			1.34			0.053

OUTLINE AND
MECHANICAL DATA



DIP20



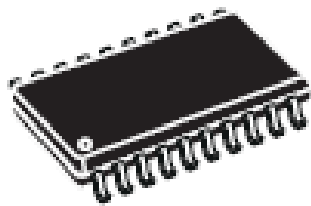
9/11



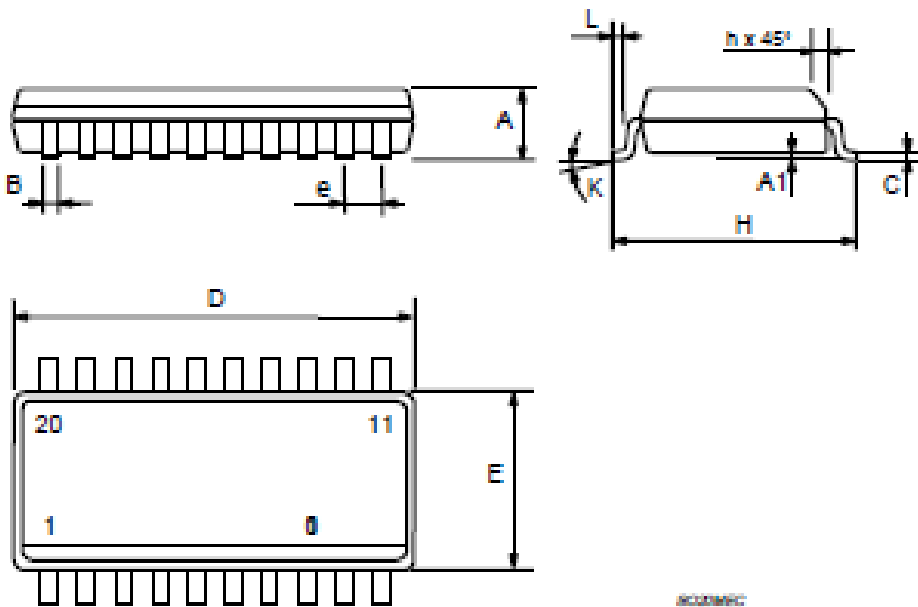
L297

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	2.35		2.65	0.093		0.104
A1	0.1		0.3	0.004		0.012
B	0.33		0.51	0.013		0.020
C	0.23		0.32	0.009		0.013
D	12.6		13	0.496		0.512
E	7.4		7.6	0.291		0.299
e		1.27			0.050	
H	10		10.65	0.394		0.419
h	0.25		0.75	0.010		0.030
L	0.4		1.27	0.016		0.050
K	D ¹ (min.)/B ¹ (max.)					

**OUTLINE AND
MECHANICAL DATA**



SO20



80C01M6C





L297

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics.
© 2001 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.
<http://www.st.com>



11/11